



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - TE 141599**

**STUDI KOORDINASI PROTEKSI PADA PT. PETROKIMIA  
GRESIK AKIBAT PENAMBAHAN BEBAN PABRIK DAN  
GENERATOR 1 X 26.8 MW**

Teuku Muhammad Kemal Isfan  
NRP 2213 100 179

Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT  
Dr. Dimas Anton Asfani, ST., MT

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**Final Project - TE 141599**

**STUDY OF PROTECTION COORDINATION IN PT.  
PETROKIMIA GRESIK DUE TO ADDITION OF NEW LOAD  
AND 1x26.8 MW GENERATOR**

Teuku Muhammad Kemal Isfan  
NRP 2213 100 179

Advisor  
Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.  
Dr. Dimas Anton Asfani, ST., MT

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING  
Faculty of Electrical Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017

## **PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR**

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul **“Studi Koordinasi Proteksi pada PT. Petrokimia Gresik Akibat Penambahan Beban Pabrik dan Generator 1x26.8 MW”** adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2017

**Teuku Muhammad Kemal Isfan**  
NRP 2213100179

**STUDI KOORDINASI PROTEKSI PADA PT. PETROKIMIA  
GRESIK AKIBAT PENAMBAHAN BEBAN PABRIK DAN  
GENERATOR 1X26.8 MW**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga  
Departemen Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

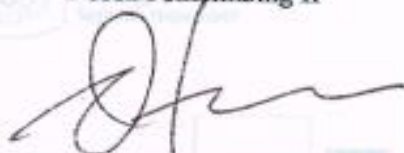
Menyetujui:

Dosen Pembimbing I



Dr. Ir. Margo Pujiatara, MT  
NIP. 1966 03 18 1990 10 1 001

Dosen Pembimbing II



Dr. Dimas Anton Asfani, ST., MT  
NIP. 1981 09 05 2005 01 1 002



# **STUDI KOORDINASI PROTEKSI PADA PT. PETROKIMIA GRESIK AKIBAT PENAMBAHAN BEBAN PABRIK DAN GENERATOR 1X26.8 MW**

**Nama : Teuku Muhammad Kemal Isfan**  
**Pembimbing I : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.**  
**Pembimbing II : Dr. Dimas Anton Asfani, ST., MT.**

## **ABSTRAK**

PT. Petrokimia Gresik adalah salah satu perusahaan produsen pupuk di Indonesia yang termasuk dalam anak perusahaan PT. Pupuk Indonesia Holding Company (PIHC). Untuk memenuhi kebutuhan pupuk nasional dan mengurangi ketergantungan impor bahan baku pupuk, PT. Petrokimia Gresik sedang melakukan ekspansi dengan membangun pabrik baru Amurea II yang kebutuhan energinya akan disuplai oleh PT. Pupuk Indonesia Energi melalui proyek *Independent Power Producer (IPP)* yaitu *Gresik Gas Cogeneration Plant (GGCP)* sebesar 26.8 MW. Dalam dunia industri, kontinuitas proses produksi sangat bergantung kepada ketersediaan tenaga listrik. Kontinuitas tersebut dapat dijaga dengan menggunakan sistem proteksi tenaga listrik yang efektif dan selektif. Akibat pembangunan pabrik Amurea II dan *IPP GGCP*, dapat mengakibatkan diperlukannya *setting* koordinasi proteksi yang berbeda dari keadaan sebelumnya, oleh karena itu perlu diadakan evaluasi rating hubung singkat peralatan *eksisting* dan level hubung singkat di titik-titik sambungan baru untuk perencanaan rating peralatan baru yang akan dipasang. Pada tugas akhir ini dilakukan studi koordinasi proteksi untuk mengetahui *setting* rele yang tepat setelah dilakukan penambahan pabrik Amurea II serta pembangkitan dari *IPP Gresik Gas Cogeneration Plant*. Hasil koordinasi proteksi ini dapat melindungi dari gangguan arus lebih berupa arus beban lebih dan arus hubung singkat.

**Kata Kunci:** Rele Pengaman, Koordinasi Proteksi, Arus Lebih.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

***STUDY OF PROTECTION COORDINATION IN PT.  
PETROKIMIA GRESIK DUE TO ADDITION OF NEW LOAD  
AND 1x26.8 MW GENERATOR***

**Name** : Teuku Muhammad Kemal Isfan  
**Advisor I** : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
**Advisor II** : Dr. Dimas Anton Asfani, ST., MT.

***ABSTRACT***

*PT. Petrokimia Gresik is one of fertilizer producer company in Indonesia which is structurally under PT. Pupuk Indonesia Holding Company (PIHC). To provide national need of fertilizer and to reduce the imports dependency of fertilizer raw materials, PT. Petrokimia Gresik is currently expanding by building a new fertilizer factory Amurea II, which later would be powered by an Independent Power Producer(IPP) Gresik Gas Cogeneration Plant (GGCP) with the capacity of 26.8 MW. In undustrial world, the production continuity is heavily dependent on the availability of electrical power. That continuity could be maintained by having an effective and selective electrical power protection system. The construction of Amurea II factory and IPP GGCP could result into the need of new protection coordination setting, so there is a need to evaluate the short circuit rating of existing equipment and short circuit level at new connection points for planning the rating of new equipments to be installed. Study of protection coordination will be conducted in this final project to determine the proper relay setting by considering the addition of Amurea II factory and Independent Power Producer Gresik Gas Cogeneration Plant. The result of this protection coordination would later be able to protect the system from overcurrent faults including overload and short circuit faults.*

***Keywords*** : Protection Relay, Protection Coordination, Overcurrent.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## KATA PENGANTAR

*Alhamdulillah Robbil 'Alamin*, segala puji dan syukur dipanjatkan kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunianya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “**Studi Koordinasi Pada PT. Petrokimia Gresik Akibat Penambahan Beban Pabrik dan Generator 1x26.8 MW**”. Adapun tujuan dari penyusunan Tugas Akhir ini adalah sebagai salah satu persyaratan untuk mendapatkan gelar sarjana teknik pada bidang studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang banyak berjasa terutama dalam penyusunan tugas Akhir ini, yaitu :

1. Allah SWT dan junjungan nabi besar Muhammad SAW.
2. Segenap keluarga besar Teuku Abdullah Ben Peukan dan keluarga besar Yahya bin Duchan.
3. Kedua orang tua tercinta, bapak Teuku Derry Ananta dan ibu Yenni Vitaria, serta kakak dan adik tercinta, Cut Naila Febrininta dan Teuku Muhammad Rafi Ihsan yang selalu memberikan dukungan, semangat, bimbingan, dan doa untuk keberhasilan penulis.
4. Bapak Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT. dan Bapak Dr. Dimas Anton Asfani, ST., MT. selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan ilmu, saran, serta bimbingannya.
5. Dwangga, Ridho, Bobby, Faiz, Mahardika, Evianto, dan Imandio selaku rekan-rekan dari SMAN 8 Jakarta yang kemudian menjadi teman seperjuangan di kampus perjuangan ITS.
6. Faiz, Dwika, Kevin, Ivan, Krishanti, Fidel, Bia, Claudia, Della, dan Hana yang telah menjadi teman susah dan senang selama 4 tahun menuntut ilmu di Surabaya.
7. Seluruh rekan asisten LIPIST atas dukungan, semangat, bantuan, kebersamaan, dan kerjasama selama ini.
8. Seluruh rekan E-53, rekan-rekan HIMATEKTRO serta warga Fakultas Teknologi Elektro atas kebersamaan dan kerjasamanya selama 4 tahun ini.
9. Seluruh keluarga besar BANGERS dan C2H5 atas segala dukungan dan bantuan selama penulis menjalani perkuliahan di Departemen Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Besar harapan penulis agar tugas akhir ini dapat memberikan manfaat dan masukan bagi banyak pihak. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik, koreksi, dan saran dari pembaca yang bersifat membangun untuk pengembangan ke arah yang lebih baik.

Surabaya, Mei 2017

Penulis

# DAFTAR ISI

	HALAMAN
<b>JUDUL</b>	
<b>LEMBAR PERNYATAAN</b>	
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b>	
<b>ABSTRAK</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	iii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	v
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	ix
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xi

## **BAB 1 PENDAHULUAN**

1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Tujuan .....	2
1.4. Batasan Masalah .....	2
1.5. Metodologi .....	3
1.6. Sistematika Penulisan .....	5
1.7. Manfaat .....	5

## **BAB 2 KOORDINASI PROTEKSI SISTEM KELISTRIKAN**

2.1. Gangguan Sistem Tenaga Listrik .....	7
2.2. Penyebab Gangguan Arus Lebih pada Sistem Tenaga Listrik .....	8
2.2.1. Gangguan Beban Lebih .....	8
2.2.2. Gangguan Hubung Singkat .....	8
2.3. Perhitungan Arus Hubung Singkat .....	9
2.4. Rele Arus Lebih .....	11
2.4.1. Rele Arus Lebih Waktu Invers .....	11
2.4.2. Rele Arus Lebih Waktu Instan .....	12
2.4.3. Rele Arus Lebih Waktu Tertentu .....	13
2.5. Pengaturan Rele Arus Lebih .....	14
2.5.1. Pengaturan Rele Arus Lebih Waktu Invers .....	14
2.5.2. Pengaturan Rele Arus Lebih Waktu Instan/Tertentu .....	15
2.5.3. Koordinasi Berdasarkan Arus dan Waktu .....	15
2.6. Rele Gangguan Tanah .....	16
2.7. Pengaturan Rele Gangguan Tanah .....	17
2.8. Transformator Pentanahan .....	17

### **BAB 3 SISTEM KELISTRIKAN PT. PETROKIMIA GRESIK**

3.1. Sistem Kelistrikan PT. Petrokimia Gresik.....	19
3.2. Rangkuman Pembangkitan, Pembebanan, dan <i>Demand</i> .....	20
3.3. Kapasitas Pembangkitan .....	21
3.4. Sistem Distribusi pada PT. Petrokimia Gresik .....	22
3.5. Sistem Pengaman Arus Lebih .....	24

### **BAB 4 HASIL SIMULASI DAN *SETTING* KOORDINASI RELE PROTEKSI PADA PT. PETROKIMIA GRESIK**

4.1. Pemodelan Sistem Kelistrikan PT.Petrokimia Gresik .....	25
4.2. Pemilihan Tipikal Koordinasi pada PT. Petrokimia Gresik .....	25
4.3. Analisis Arus Gangguan Hubung Singkat .....	28
4.3.1 Analisis Hubung Singkat Minimum 30 <i>Cycle</i> .....	28
4.3.2 Analisis Hubung Singkat Maksimum 4 <i>Cycle</i> .....	31
4.4. Koordinasi Rele Arus Lebih Untuk Gangguan Fasa.....	33
4.4.1. Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 1 ..	33
4.4.2. Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 2 ...	42
4.4.3. Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 3 ...	49
4.4.4. Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 4 ...	56
4.5. Analisis Koordinasi Proteksi pada Sistem Kelistrikan baru .....	63
4.5.1 Studi Koordinasi Rele Proteksi Baru Terhadap Gangguan pada Bus HVS-00-20kV/GI A. ....	63
4.5.1 Studi Koordinasi Rele Proteksi Baru Terhadap Gangguan pada Bus UBB 20kV A.....	65
4.6. Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan ke Tanah.....	67
4.6.1. Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Tanah Tipikal 7..	68
4.6.2. Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Tanah Tipikal 6..	71
4.6.3. Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Tanah Tipikal 5..	74
4.7. Rekapitulasi Setting Rele Arus Lebih .....	77

### **BAB 5 PENUTUP**

5.1. Kesimpulan .....	81
5.2. Saran.....	82

### **DAFTAR PUSTAKA..... 83**

### **BIOGRAFI PENULIS**

### **LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

	HALAMAN
Gambar 1.1 Diagram alir metodologi pengerjaan tugas akhir.....	3
Gambar 2.1 Karakteristik <i>standard inverse</i> , <i>very inverse</i> , dan <i>extremely inverse</i> .....	12
Gambar 2.2 Karakteristik rele arus lebih instan .....	12
Gambar 2.3 Kombinasi IDMT dengan rele arus lebih waktu instan .....	13
Gambar 2.4 Karakteristik rele arus lebih waktu tertentu .....	13
Gambar 2.5 Rele arus lebih pengamanan trafo.....	16
Gambar 3.1 Sistem Kelistrikan <i>Existing</i> PT. Petrokimia Gresik.....	19
Gambar 3.2 Sistem Kelistrikan Baru PT. Petrokimia Gresik .....	20
Gambar 4.1 Tipikal koordinasi rele arus lebih fasa PT. Petrokimia Gresik .....	27
Gambar 4.2 Tipikal koordinasi rele arus lebih gangguan ke tanah PT. Petrokimia Gresik .....	27
Gambar 4.3 Rangkaian <i>single line diagram</i> tipikal 1 .....	33
Gambar 4.4 Plot <i>Time-current curve</i> tipikal 1.....	41
Gambar 4.5 Rangkaian <i>single line diagram</i> tipikal 2 .....	42
Gambar 4.6 Plot <i>Time-current curve</i> tipikal 2.....	48
Gambar 4.7 Rangkaian <i>single line diagram</i> tipikal 3 .....	49
Gambar 4.8 Plot <i>Time-current curve</i> tipikal 3.....	55
Gambar 4.9 Rangkaian <i>single line diagram</i> tipikal 4 .....	56
Gambar 4.10 Plot <i>Time-current curve</i> tipikal 4.....	62
Gambar 4.11 Arus kontribusi GGCP ketika gangguan pada Bus GI...	63
Gambar 4.12 Koordinasi rele baru terhadap gangguan pada Bus GI ..	64
Gambar 4.13 Arus kontribusi GGCP gangguan pada Bus UBB .....	65
Gambar 4.14 Koordinasi rele baru terhadap gangguan Bus UBB .....	66
Gambar 4.15 Rangkaian <i>single line diagram</i> tipikal gabungan.....	67
Gambar 4.16 Rangkaian <i>single line diagram</i> tipikal 7 .....	68
Gambar 4.17 Plot <i>Time-current curve</i> tipikal 7.....	70
Gambar 4.18 Rangkaian <i>single line diagram</i> tipikal 6 .....	71
Gambar 4.19 Plot <i>Time-current curve</i> tipikal 6.....	73
Gambar 4.20 Rangkaian <i>single line diagram</i> tipikal 5 .....	74
Gambar 4.21 Plot <i>Time-current curve</i> tipikal 5.....	76

*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*

## DAFTAR TABEL

	HALAMAN
Tabel 2.1 Gambar rangkaian dan persamaan gangguan hubung singkat .....	9
Tabel 2.2 Koefisien invers <i>time dial</i> .....	15
Tabel 3.1. Jumlah total pembangkitan, pembebanan, dan <i>Demand</i> .....	20
Tabel 3.2. Data Kapasitas Pembangkit pada PT. Petrokimia Gresik....	21
Tabel 3.3. Data Transformator Distribusi yang Digunakan pada Jaringan Interkoneksi di PT. Petrokimia Gresik.....	22
Tabel 4.1. Data arus hubung singkat minimum pada bus utama.....	28
Tabel 4.2. Data arus hubung singkat minimum melewati rele pada masing masing tipikal .....	29
Tabel 4.3. Data arus hubung singkat maksimum melewati rele pada masing masing tipikal .....	30
Tabel 4.4. Data arus hubung singkat maksimum <i>4 cycle</i> pada bus utama .....	31
Tabel 4.5. Data arus hubung singkat <i>4 cycle</i> melewati rele pada masing masing tipikal .....	32
Tabel 4.6. Tabel Rekapitulasi <i>Setting</i> Rele Arus Lebih .....	73

*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Suatu industri skala besar tentunya juga memiliki sistem kelistrikan yang besar untuk memenuhi kebutuhan daya listrik dalam proses produksinya. Dalam sistem kelistrikan suatu industri kontinuitas pasokan daya listrik dan keandalan sistem kelistrikan tersebut menjadi sangat penting untuk menjaga kontinuitas produksi, oleh karena itu dibutuhkan koordinasi pengamanan yang baik dan handal. Ketika terjadi gangguan, diharapkan pemutus atau *circuit breaker*(CB) yang terletak paling dekat dengan titik terjadinya gangguan akan bekerja. Jika CB tersebut gagal bekerja, maka CB terdekat setelahnya harus dapat bekerja sebagai *back-up*.

Untuk memenuhi kebutuhan pupuk nasional dan mengurangi ketergantungan impor bahan baku pupuk, PT. Petrokimia Gresik sedang melakukan ekspansi dengan membangun pabrik baru *Amurea II*. Dengan meningkatnya kebutuhan energi dari PT. Petrokimia Gresik akibat pembangunan pabrik *Amurea II*, PT. Pupuk Indonesia Energi saat ini sedang melakukan proyek *Independent Power Producer (IPP)* yaitu *Gresik Gas Cogeneration Plant( GGCP)*.

PT. Petrokimia Gresik saat ini memiliki 4 pabrik industri yang sistem tenaganya disuplai oleh PLN serta 6 pembangkit mandiri. Pembangunan proyek IPP dengan kapasitas pembangkitan 26.8 MW tersebut kemudian akan terintegrasi dengan sistem *existing* melalui Bus 11A yang terdapat pada pabrik *Amurea II*. Keadaan tersebut membuat *setting* koordinasi proteksi pada PT. Petrokimia Gresik mengalami perubahan dari keadaan sebelumnya, oleh karena itu perlu dilakukan evaluasi rating hubung singkat peralatan eksisting dan level hubung singkat di titik-titik sambungan baru untuk perencanaan rating peralatan baru yang akan dipasang.

Pada tugas akhir ini dilakukan studi koordinasi proteksi untuk mengetahui *setting* rele yang tepat setelah dilakukan penambahan beban serta pembangkitan pada sistem kelistrikan PT. Petrokimia Gresik. Hasil koordinasi proteksi ini dapat melindungi dari gangguan berupa arus beban lebih dan arus hubung singkat.

## 1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Sistem kelistrikan di PT Petrokimia Gresik setelah dibangun *IPP Gresik Gas Cogeneration Plant* dan *Amurea II*.
2. Studi mengenai analisis arus hubung singkat pada PT. Petrokimia Gresik setelah dibangun *IPP Gresik Gas Cogeneration Plant* dan *Amurea II*.
3. Koordinasi rele arus lebih dan rele gangguan ke tanah pada *typical* yang ditentukan di PT Petrokimia Gresik dengan menggunakan nilai yang didapatkan dari perhitungan dan disimulasikan menggunakan *software* ETAP

## 1.3 Tujuan

Tujuan dari Tugas Akhir ini diharapkan sebagai berikut:

1. Memodelkan, mensimulasikan serta menganalisis sistem kelistrikan pada pada PT. Petrokimia Gresik setelah pembangunan *Independent Power Plant Gresik Gas Cogeneration Plant (IPP GGCP)* dan pabrik *Amurea II*.
2. Mendapatkan *setting* yang tepat, cepat, dan handal dari koordinasi rele arus lebih dan rele gangguan ke tanah yang tepat pada sistem kelistrikan akibat pembangunan pabrik *Amurea II* dan *IPP Gresik Gas Cogeneration Plant* pada PT. Petrokimia Gresik.

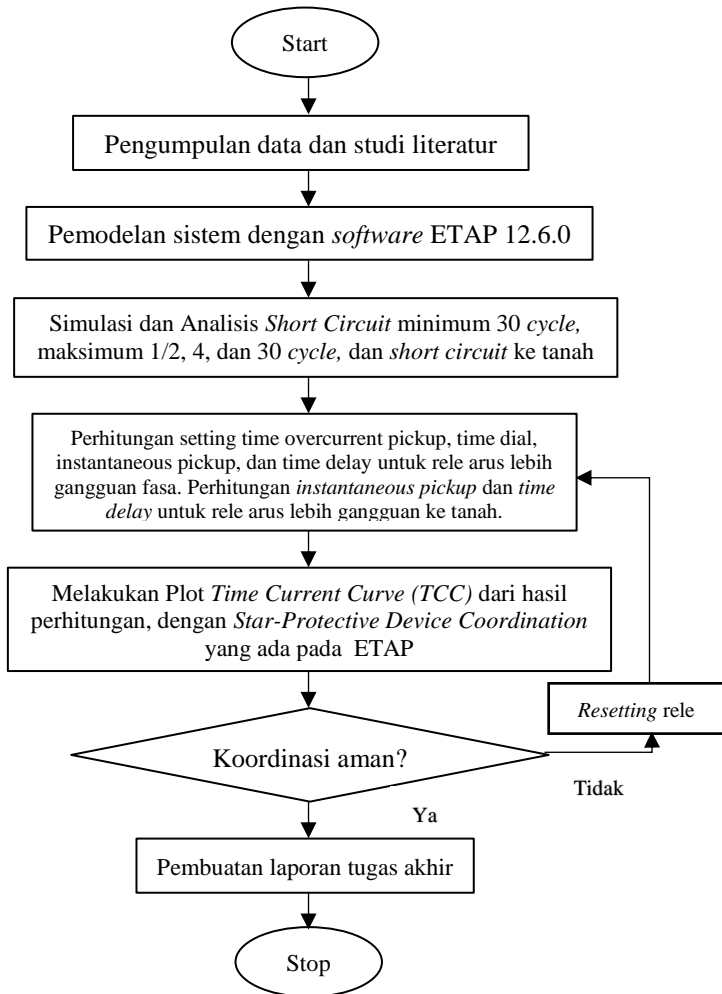
## 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Studi koordinasi proteksi yang dilakukan pada tugas akhir ini hanya pada bagian *Medium Voltage* / Jaringan Interkoneksi PT. Petrokimia Gresik.
2. Pengaturan rele pengaman dilakukan dengan asumsi rele pengaman pada bagian *low voltage* / sistem kelistrikan pabrik sudah terkoordinasi dengan baik.
3. Pengaturan dan koordinasi rele yang dilakukan pada Tugas Akhir ini hanya dilakukan pada rele arus lebih.

## 1.5 Metodologi

Gambar 1.1 merupakan diagram alir metodologi penyusunan tugas akhir



**Gambar 1.1** Diagram alir metodologi pengerjaan tugas akhir

Metode penelitian yang digunakan pada tugas akhir ini sebagai berikut :

**1. Pengumpulan data dan Studi Literatur**

Mengumpulkan data – data mengenai sistem kelistrikan PT. Petrokimia Gresik seperti *single line diagram*, rating kabel, transformator, generator, motor, *bus*, rele dan sistem pentanahan akan digunakan dalam pemodelan sistem pada simulasi. Data rating yang dibutuhkan berupa manufaktur, kV rating, pf rating, *Full Load Ampere (FLA)*, impedansi, daya dan hubungan belitan pada transformator, motor dan generator. Kemudian mengumpulkan buku serta referensi yang berhubungan dengan koordinasi proteksi.

**2. Pemodelan sistem dengan software ETAP 12.6.0**

Memodelkan sistem kelistrikan PT. Petrokimia Gresik dan mensimulasikan dengan menggunakan *software* ETAP 12.6.0. Pemodelan sistem tersebut dilakukan untuk membuat analisis aliran daya, hubung singkat, dan kemudian setting koordinasi proteksi.

**3. Simulasi dan analisis short circuit**

Simulasi dan Analisis *Short Circuit* dilakukan untuk mendapatkan nilai *Short Circuit Maximum* tiga fasa  $\frac{1}{2}$  cycle dan *Short Circuit Minimum* satu fasa 30 cycle pada *bus* yang akan dihitung koordinasi rele pengamannya.

**4. Perhitungan Setting Rele**

Pada Perhitungan *setting* rele arus lebih gangguan fasa akan dihitung *time overcurrent pickup*, *time dial*, *instantaneous pickup*, dan *time delay*. Dan perlu untuk ditentukan *manufactur model* rele, jenis kurva serta nCT yang digunakan. Pada perhitungan rele gangguan ke tanah memperhatikan sistem pentanahan yang digunakan pada trafo dan generator.

**5. Plot TCC pada Star-Protective Device Coordination**

Plot *TCC* ini dilakukan setelah mendapatkan hasil perhitungan rele pengaman arus lebih dan rele gangguan ke tanah sehingga bisa dilihat *setting* koordinasi yang benar. Koordinasi rele ini harus mempertimbangkan rele yang berada di atas atau dibawahnya. Jika terjadi ketidaksesuaian pada koordinasi rele, maka harus dilakukan pemeriksaan dengan melakukan perhitungan dan simulasi ulang.

## **6. Pembuatan laporan tugas akhir**

Menyusun laporan tugas akhir serta memberikan kesimpulan dan saran tentang *setting* koordinasi rele proteksi pada PT. Petrokimia Gresik akibat penambahan pembangkitan dan beban pabrik, serta untuk mengatasi gangguan-gangguan yang terjadi.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Laporan tugas akhir ini dibagi menjadi lima bab dengan sistematika sebagai berikut :

### **BAB 1 : Pendahuluan**

Meliputi latar belakang, perumusan masalah, tujuan dan manfaat, metodologi, dan sistematika penulisan.

### **BAB 2 : Koordinasi Proteksi Sistem Tenaga Listrik**

Berisi dasar teori yang berkenaan dengan topik tugas akhir yang dilakukan.

### **BAB 3 : Sistem Kelistrikan PT. Petrokimia Gresik**

Berisi mengenai konfigurasi kelistrikan *existing* pada PT. Linde Indonesia Gresik.

### **BAB 4 : Hasil Simulasi dan Setting Koordinasi Rele Proteksi pada PT. Petrokimia Gresik**

Berisi mengenai perhitungan dan hasil simulasi yang telah dilakukan. Perhitungan dan pengaturan parameter-parameter yang terdapat pada rele pengamanan dilakukan dengan mengikuti acuan dan standar yang sudah ada.

### **BAB 5 : Penutup**

Berisi kesimpulan dan saran terhadap hasil analisis dan simulasi yang telah dilakukan.

## **1.7 Manfaat**

Hasil dari Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Dapat dipakai sebagai masukan bagi PT. Petrokimia Gresik dalam melakukan koordinasi proteksi arus lebih dan rele gangguan ketanah akibat pembangunan *IPP Gresik Gas Cogeneration Plant* dan *Amurea II*.
2. Dapat menjadi referensi mengenai studi koordinasi rele arus lebih dan rele gangguan ke tanah bagi mahasiswa yang akan mengerjakan Tugas Akhir dengan permasalahan yang serupa.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB 2**

### **KOORDINASI PROTEKSI SISTEM KELISTRIKAN**

Sistem proteksi dalam sistem tenaga listrik bertujuan untuk mengamankan peralatan serta sistem kelistrikan secara menyeluruh dari kerusakan akibat arus gangguan. Ketika terjadi gangguan pada sistem kelistrikan, rele proteksi harus mampu mengisolir arus gangguan dengan mengoperasikan pemutus tenaga (*Circuit Breaker*) agar kerusakan pada peralatan dapat dicegah serta kontinuitas pelayanan / *supply* tenaga listrik dapat terjaga dengan baik [1].

Sistem proteksi harus didesain agar terdapat koordinasi yang baik antara setiap rele sesuai dengan letak terjadinya gangguan dan zona proteksinya. Zona Proteksi dibagi menjadi zona primer dan zona *back up*. Rele proteksi primer adalah rele yang terdekat dengan titik terjadinya gangguan dan bekerja paling awal saat terjadinya gangguan. Jika rele proteksi primer gagal bekerja untuk mengisolasi gangguan, rele proteksi *back up* akan bekerja setelah beberapa waktu tunda (*time delay*).

Dalam pemilihan rele proteksi harus mempertimbangkan hal-hal sebagai berikut [1] : Proteksi maksimum dan handal, Biaya peralatan minimum, Kecepatan operasi, Sensitivitas tinggi terhadap gangguan, Tidak sensitif terhadap arus beban normal, serta desain yang simpel.

#### **2.1 Gangguan Sistem Tenaga Listrik**

Ketika terjadi gangguan pada suatu sistem kelistrikan, peralatan seperti generator dan motor akan memberikan arus kepada titik terjadinya gangguan (disebut dengan arus kontribusi) yang memiliki nominal arus jauh lebih besar dibandingkan dengan arus nominal *rating* peralatan. Arus yang sangat besar tersebut dapat menyebabkan naiknya temperatur peralatan sehingga menyebabkan kerusakan pada alat.

Jenis gangguan (*fault*) pada sistem tenaga listrik dibagi menjadi dua, yaitu [2] :

1. Gangguan temporer (sementara) : Jenis gangguan temporer adalah gangguan yang dapat hilang dengan sendirinya atau akan hilang ketika bagian yang mengalami gangguan diputus secara sesaat dari sistem kelistrikan melalui *circuit breaker* yang terbuka oleh rele pengaman. Dalam jenis gangguan ini, peralatan yang mengalami gangguan dapat dioperasikan kembali. Gangguan jenis ini dapat menjadi gangguan permanen jika gangguan yang tidak diatasi atau diisolir secara seketika.

2. Gangguan permanen : Jenis gangguan permanen adalah gangguan yang terjadi ketika terdapat kerusakan bersifat permanen pada peralatan, sehingga gangguan ini hanya dapat dihilangkan ketika peralatan yang mengalami gangguan dilepas dari sistem untuk diperbaiki atau diganti sehingga dapat dioperasikan kembali.

## **2.2 Penyebab Gangguan Arus Lebih pada Sistem Tenaga Listrik**

Gangguan arus lebih pada sistem tenaga listrik merupakan gangguan yang paling sering terjadi. Gangguan arus lebih dapat disebabkan oleh dua hal, yaitu beban lebih (*overload*) dan hubung singkat (*Short Circuit*).

### **2.2.1 Gangguan Beban Lebih**

Gangguan beban lebih adalah gangguan yang terjadi ketika arus yang mengalir kedalam suatu peralatan melebihi batas arus nominal yang diizinkan ( $I > I_n$ ). Gangguan ini dapat terjadi ketika terdapat kegagalan isolasi pada peralatan, atau pengoperasian peralatan melebihi *rating* peralatan. Peralatan yang mengalami gangguan beban lebih harus segera diamankan karena arus yang melebihi kapasitas dapat merusak peralatan listrik.

### **2.2.2 Gangguan Hubung Singkat**

Gangguan hubung singkat adalah gangguan yang terjadi ketika terjadinya hubungan dari fasa atau tanah (*ground*) yang seharusnya tidak terhubung. Gangguan hubung singkat digolongkan menjadi dua kelompok yaitu gangguan hubung singkat simetri dan gangguan hubung singkat tak simetri (asimetri).

Gangguan yang termasuk dalam hubung singkat simetri adalah gangguan hubung singkat tiga fasa (L-L-L) dan hubung singkat tiga fasa ke tanah (L-L-L-G). Saat terjadi gangguan simetri, tegangan pada bus atau titik terjadi gangguan akan bernilai 0 dan arus yang mengalir ke titik gangguan sangat besar.

Sedangkan gangguan yang termasuk dalam hubung singkat tak simetri adalah hubung singkat dua fasa (L-L), dua fasa ke tanah (L-L-G), dan satu fasa ke tanah (L-G). Gangguan ini akan mengakibatkan arus lebih pada fasa yang terganggu dan juga akan dapat mengakibatkan kenaikan tegangan pada fasa yang tidak terganggu. Gangguan hubung singkat tak simetri adalah gangguan hubung singkat yang paling umum terjadi.



Akibat adanya gangguan hubung singkat, kontinuitas daya akan terhenti karena membukanya *circuit breaker*, tetapi hal tersebut lebih baik karena jika arus hubung singkat tidak segera dihilangkan akan merusak peralatan.

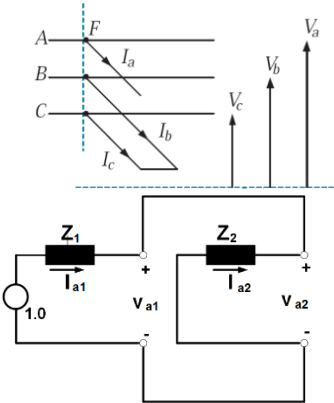
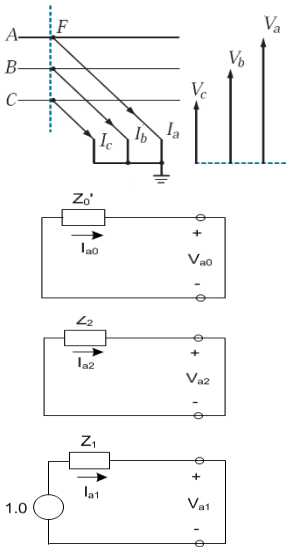
### 2.3 Perhitungan Arus Hubung Singkat

Berikut adalah cara perhitungan praktis untuk menentukan besar arus hubung singkat menurut referensi[3]:

**Tabel 2.1** Gambar rangkaian dan persamaan gangguan hubung singkat

Gangguan Hubung singkat	Rangkaian Hubung Singkat & Rangkaian Pengganti	Persamaan
1 fasa ke tanah		$I_b = 0$ $I_c = 0$ $V_a = 0$ $I_{sc} = \frac{3V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_3}$
2 fasa ke tanah		$I_a = 0$ $V_b = 0$ $V_c = 0$ $I_{sc} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2 Z_0 / (Z_2 + Z_0)}$

**Tabel 2.1** Gambar rangkaian dan persamaan gangguan hubung singkat (lanjutan)

Gangguan Hubung singkat	Rangkaian Hubung Singkat & Rangkaian Pengganti	Persamaan
Antar fasa		$I_a = 0$ $I_b = -I_c$ $V_b = V_c$ $I_{sc} = \left  \pm j \frac{\sqrt{3}V_f}{Z_1 + Z_2} \right $
3 fasa langsung (simetri)		$V_{a2} = 0$ $I_{a0} = 0$ $I_{a2} = 0$ $a0 = 0$ $I_{sc} = \frac{V_f}{Z_1}$

## 2.4 Rele Arus Lebih (*Over Current Relay*)

Rele arus lebih adalah rele yang digunakan untuk mendeteksi gangguan beban lebih (*overload*) atau hubung singkat (*short Circuit*). Rele arus lebih akan beroperasi memberikan perintah/sinyal kepada pemutus tenaga sesuai ketentuan berikut, menurut referensi [4]:

$I_f > I_p$	rele bekerja	( <i>trip</i> )
$I_f < I_p$	tidak bekerja	(blok)

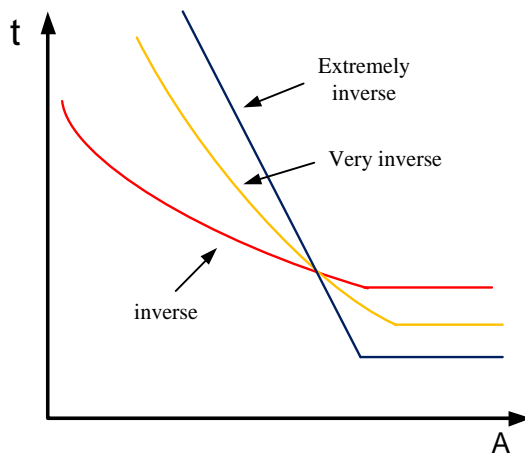
Dimana  $I_p$  adalah arus kerja atau arus *pick up*, dinyatakan menurut gulungan sekunder dari trafo arus (CT) yang terhubung ke rele. Dan  $I_f$  merupakan arus gangguan yang mengalir pada sisi primer CT, yang kemudian dikonversi terhadap gulungan sekunder CT untuk dibandingkan dengan  $I_{pick up}$ . Rele arus lebih dibagi menjadi tiga, yaitu dan rele arus lebih waktu *invers*, rele arus lebih waktu instan, dan rele arus lebih waktu tertentu.

### 2.4.1 Rele Arus Lebih Waktu Invers

Rele arus lebih waktu invers memiliki karakteristik waktu operasi berbanding terbalik dengan besarnya arus gangguan [5]. Dengan kata lain semakin besar arus gangguan yang mengalir, maka waktu operasi rele akan semakin cepat, begitu pula sebaliknya. Kurva TCC (*time-current characteristic*) adalah kurva yang menunjukkan karakteristik waktu-arus dengan skala dalam *time dial*. Besarnya *time dial* yang ditentukan akan mempengaruhi waktu operasi rele dan kemiringan kurva.

Perlindungan terhadap arus gangguan menggunakan rele arus lebih waktu invers dibagi menjadi beberapa jenis menurut gradien kurvanya. Menurut standar IEC 60255-3 dan *British Standard 142* (BS 142) kurva invers dibagi menjadi *standard inverse*, *very inverse*, dan *extremely inverse* seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1. Menurut standar lain yang dikeluarkan oleh IEEE, terdapat karakteristik kurva invers yang lain yaitu *moderately inverse*, *long time inverse*, dan *short time inverse*, sebagai pelengkap dari standar yang sudah ada sebelumnya.

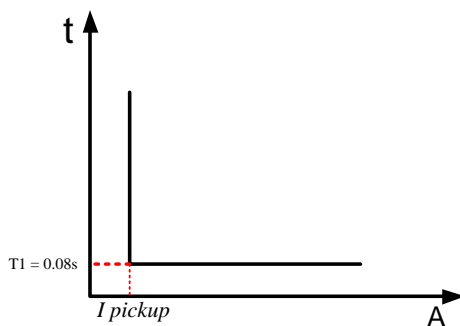
Kurva inverse banyak dijumpai dengan waktu operasi yang menyerupai waktu tertentu (*definite*) ketika arus yang mengalir bertambah besar. Kurva invers tersebut biasa disebut dengan *Inverse Definite Minimum Time* (IDMT), yang pada penggunaannya sering digabungkan dengan kurva waktu instan ataupun kurva waktu tertentu.



**Gambar 2.1** Karakteristik *standard inverse*, *very inverse* dan *extremely inverse*

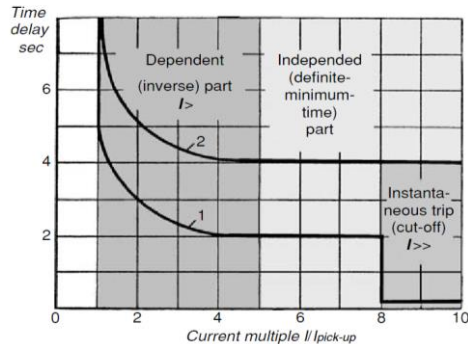
#### 2.4.2 Rele Arus Lebih Waktu Instan

Rele arus lebih waktu instan adalah rele yang akan bekerja tanpa penundaan waktu (*time delay*). Pada praktiknya, rele arus lebih waktu instan akan bekerja dengan waktu operasi sebesar 0.08-0.1 detik. Karakteristik rele arus lebih waktu instan adalah seperti pada Gambar 2.2.



**Gambar 2.2** Karakteristik rele arus lebih *instant*

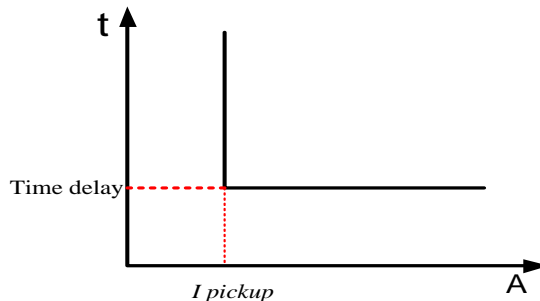
Ketika arus yang melewati CT melebihi besar arus *pick up*, rele akan memberi sinyal kepada CB untuk memutus daya dalam waktu sangat cepat (80 ms). Penggunaan IDMT yang dikombinasikan dengan rele arus lebih waktu instan ditunjukkan pada Gambar 2.3.



**Gambar 2.3** Kombinasi IDMT dengan rele arus lebih waktu instan [6]

### 2.4.3 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

Rele arus lebih waktu tertentu bekerja seperti rele arus lebih waktu instan tetapi memiliki waktu operasi (*time delay*) yang dapat diatur sesuai kebutuhan koordinasi rele pengaman. Dengan menggunakan rele arus lebih waktu tertentu, semua nilai arus yang melebihi arus *pick up* akan memicu rele memberikan sinyal kepada CB untuk memutus daya dengan waktu yang sama (*definite*). Karakteristik rele arus lebih waktu tertentu ditunjukkan pada Gambar 2.4.



**Gambar 2.4** Karakteristik rele arus lebih waktu tertentu

## 2.5 Pengaturan Rele Arus Lebih

Pengaturan rele arus lebih memiliki perbedaan sesuai jenis rele arus lebih yang digunakan.

### 2.5.1 Pengaturan Rele Arus Lebih Waktu Invers

Rele arus lebih waktu invers diatur agar rele tidak bekerja ketika kondisi pembebanan maksimum dan bekerja ketika arus yang mengalir ke peralatan melebihi arus maksimum peralatan. Dengan kata lain, rele arus lebih waktu invers bekerja untuk melindungi peralatan dan sistem dari gangguan beban lebih (*overload*). Oleh Karena itu dalam pengaturan rele ini *setting* arusnya harus lebih besar dari arus beban maksimum (*Full Load Ampere/FLA*).

Rele arus lebih waktu invers memiliki pengaturan *pick up* dan *time dial*. Pengaturan arus *pick up* pada rele erus lebih ditentukan dengan pemilihan *tap*, yang ditunjukkan pada persamaan berikut :

$$Tap = \frac{I_{set}}{CT_{primary}} \dots\dots\dots (1)$$

Iset adalah arus *pickup* yang ditentukan dalam Ampere. Menurut standar BS 142, batas penentuan I set adalah sebagai berikut :

$$1.05 FLA < I_{set} < 1.3 FLA. \dots\dots\dots (2)$$

Pengaturan *time dial* akan menentukan waktu operasi dari rele waktu invers. Penentuan *time dial* dari masing-masing kurva karakteristik rele arus lebih waktu invers dilakukan dengan terlebih dahulu menentukan waktu operasi yang dibutuhkan. Menurut standar IEC 60255-3 dan *British Standard* 142, nilai time dial dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$td = \frac{k \times T}{\beta \times \left[ \left( \frac{I}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right]} \dots\dots\dots (3)$$

Dimana :

- td* = waktu operasi (detik)
- T* = *time dial*
- I* = nilai arus (Ampere)
- Iset* = arus *pickup* (Ampere)
- k* = koefisien invers 1 (lihat Tabel 2.2)
- $\alpha$  = koefisien invers 2 (lihat Tabel 2.2)
- $\beta$  = koefisien invers 3 (lihat Tabel 2.2)

**Tabel 2.2** Koefisien invers *time dial*

Tipe Kurva	Koefisien		
	k	$\alpha$	$\beta$
<i>Standard Inverse</i>	0,14	0,02	2,970
<i>Very Inverse</i>	13,50	1,00	1,500
<i>Extremely Inverse</i>	80,00	2,00	0,808

### 2.5.2 Pengaturan Rele Arus Lebih Instan/Tertentu

Rele arus lebih instan diatur untuk bekerja dalam waktu seketika atau waktu tertentu ketika arus yang mengalir melebihi arus *pick up*. Rele arus lebih waktu instan biasanya digunakan untuk melindungi peralatan atau sistem dari gangguan arus lebih hubung singkat. Dalam menentukan setelan *pickup* instan ini digunakan arus hubung singkat minimum ( $I_{sc \min}$ ) yaitu arus hubung singkat 2 fasa pada pembangkitan minimum. Pengaturan *pick up* pada rele ini ditetapkan sebagai:

$$I_{set} \leq 0.8 I_{sc \min} \dots \dots \dots (4)$$

### 2.5.3 Koordinasi Berdasarkan Arus dan Waktu

Pada penggunaan rele pengaman harus terdapat koordinasi yang baik. Koordinasi baik yang dimaksud adalah rele pengaman utama dan rele pengaman backup tidak boleh bekerja secara bersamaan. Oleh karena itu diperlukan adanya pengaturan waktu tunda/*time delay* antara rele utama dengan rele *backup*. Pengaturan *Time delay* ini biasa disebut dengan *setting* kelambatan waktu ( $\Delta t$ ) atau *grading time*. Menurut standard IEEE 242 [1], pengaturan perbedaan *grading time* adalah 0.2 – 0.35 detik. Dengan spesifikasi sebagai berikut:

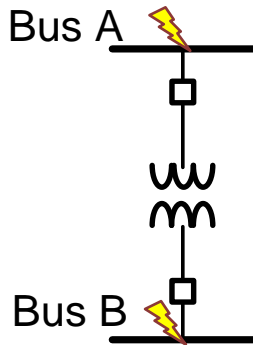
Waktu buka CB : 0.04 – 0.1s (2-5 cycle)

*Overtravel* dari rele : 0.1s

Faktor keamanan : 0.12-0.22s

Untuk rele berbasis *microprocessor* *Overtravel time* dari rele diabaikan. Sehingga total waktu yang diperlukan adalah 0.2-0.4s.

Sebagai pertimbangan khusus bagi pengaman *feeder* yang dipisahkan oleh transformator, koordinasi pengaman dibedakan menjadi dua daerah, yakni sisi primer dan daerah sisi sekunder seperti ditunjukkan pada Gambar 2.5.



**Gambar 2.5** Rele arus lebih pengamanan trafo

Dimana  $I_{sc \max \text{ bus B}}$  merupakan arus hubung singkat tiga fasa maksimum pada bus B, sedangkan  $I_{sc \min, A}$  adalah arus hubung singkat minimum pada titik A.

Ketika  $I_{sc \max \text{ bus B}} < 0.8 I_{sc \min, A}$ , maka pengaturan Iset dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$I_{sc \max \text{ bus B}} \leq I_{set} \leq 0.8 I_{sc \min, A} \dots\dots\dots(5)$$

Pengaturan *time delay* rele sisi A pada kondisi seperti ini dapat diatur kembali seperti rele pengaman utama (umumnya 0.1s).

Ketika  $I_{sc \max \text{ bus B}} > 0.8 I_{sc \min, A}$ , maka pengaturan Iset dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$I_{set} \leq 0.8 I_{sc \min, A} \dots\dots\dots(6)$$

Pengaturan *time delay* rele sisi A pada kondisi seperti ini diatur menggunakan dengan *grading time* seperti yang telah dijelaskan sebelumnya.

## 2.6 Rele Gangguan tanah

Rele gangguan tanah adalah rele yang digunakan untuk mengamankan peralatan terhadap gangguan satu fasa ke tanah. Rele gangguan tanah adalah rele pengaman arus lebih yang dilengkapi *zero sequence current filter*. Rele gangguan ke tanah dapat digunakan pada sistem yang menggunakan sistem pentanahan untuk membatasi arus gangguan ke tanah.



## 2.7 Pengaturan Rele Gangguan Tanah

Dalam pengaturan rele arus lebih gangguan tanah, harus mempertimbangkan hal hal sebagai berikut :

- Arus urutan nol akan terisolasi pada trafo belitan delta
- Arus urutan nol akan mengalir dari sumber gangguan trafo belitan Wye

Sedangkan penentuan Iset dalam pengaturan rele gangguan ke tanah adalah sebagai berikut :

$$5-10\% \times I_{sc\ L-G} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{sc\ L-G} \dots\dots\dots (7)$$

Dengan  $I_{sc\ L-G}$  merupakan arus hubung singkat satu fasa ke tanah.

Pada suatu sistem yang dilengkapi dengan *Neutral Grounding Resistor* (NGR), diasumsikan nilai arus gangguan satu fasa ke tanah adalah arus maksimum melalui NGR tersebut. Sehingga penentuan Iset untuk rele gangguan ke tanah dalam sistem yang dilengkapi NGR adalah sebagai berikut :

$$5-10\% \times \text{Arus maks. NGR} \leq I_{set} \leq 50\% \times \text{Arus maks. NGR} \dots\dots\dots (8)$$

## 2.8 Transformator Pentanahan

Transformator pentanahan (*Grounding Transformer*) adalah trafo yang dimaksudkan semata-mata untuk membangun titik koneksi netral pada suatu sistem tenaga tiga fasa yang tidak diketanahkan [7]. Jenis transformator yang digunakan untuk tujuan ini umunya adalah transformator *wye-delta* atau transformator *zig-zag*. Transformator pentanahan telah digunakan pada sistem kelistrikan tiga fasa yang tidak diketanahkan untuk beberapa alasan, yaitu [8] :

1. Sebagai sumber arus gangguan ke tanah ketika terjadi gangguan satu fasa ke tanah.
2. Membatasi magnitude dari tegangan lebih transien ketika terjadi gangguan ke tanah.
3. Menstabilkan saluran netral, dan jika dibutuhkan, dapat menyediakan hubungan beban fasa-netral.

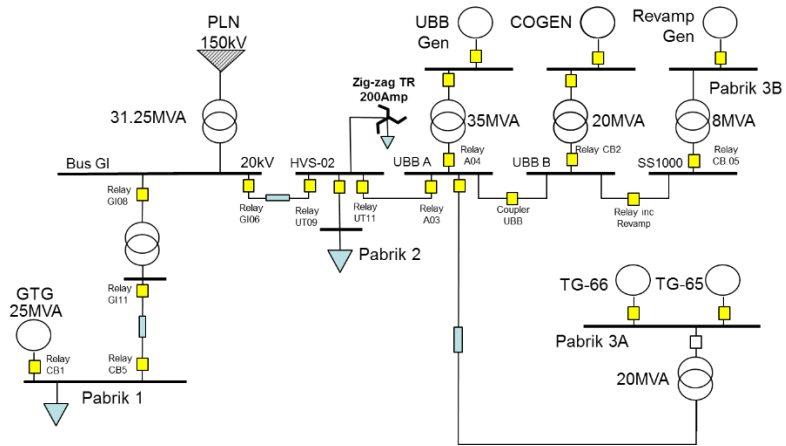
Dalam penggunaan *software* ETAP 12.6, pemodelan dari transformator *zig-zag* dapat dilakukan dengan menggunakan transformator dua belitan hubungan *wye-delta* [9].

## BAB 3

### SISTEM KELISTRIKAN PT. PETROKIMIA GRESIK

#### 3.1 Sistem Kelistrikan PT. Petrokimia Gresik

PT. Petrokimia Gresik memiliki sistem kelistrikan yang tergolong besar dan kompleks. Dalam sistem kelistrikan *existing* (sebelum penambahan beban pabrik Amurea 2 dan penambahan pembangkitan IPP Gresik Gas Cogeneration Plant), PT. Petrokimia Gresik memiliki 4 pabrik yaitu Pabrik 1, Pabrik 2, Pabrik 3A dan Pabrik 3B. Sistem kelistrikan *existing* PT. Petrokimia Gresik ditunjukkan pada gambar 3.1.



**Gambar 3.1** Sistem Kelistrikan *Existing* PT. Petrokimia Gresik

Pada gambar 3.1 ditunjukkan bahwa sistem kelistrikan pada PT. Petrokimia Gresik sudah hampir terintegrasi antara satu pembangkit ke pembangkit lainnya, kecuali pada pabrik 3A yang pada operasinya menggunakan pembangkit mandiri yaitu TG-65 dan TG-66. Dalam kondisi operasi normal, total beban adalah 77.3 MW yang disuplai oleh grid PLN serta lima generator dengan total kapasitas 102.5 MW. Perbedaan antara kapasitas pembangkitan dengan total beban yang cukup besar (sekitar 25 MW) ini diperlukan karena sistem kelistrikan PT. Petrokimia yang sudah terintegrasi seperti dijelaskan sebelumnya.

Dengan adanya proyek pembangunan pabrik Amurea 2 dan IPP GGCP yang kemudian akan terhubung dengan sistem kelistrikan *existing*,

### 3.2 Rangkuman Pembangkitan, Pembebanan, dan *Demand*

**Tabel 3.1** Jumlah Total Pembangkitan, Pembebanan, dan *Demand*

20

**Tabel 3.1** Jumlah Total Pembangkitan, Pembebanan, dan *Demand* (Lanjutan)

	MW	Mvar	MVA	% PF
Total Demand	91.327	50.579	104.397	87.48
Apparent Losses	1.217	5.525		

### 3.3 Kapasitas Pembangkitan

Setelah pembangunan pabrik amurea dan *independent power plant* GGCP, PT. Petrokimia Gresik akan memiliki total 10 unit pembangkit yang 6 diantaranya akan beroperasi dalam kondisi pembebanan normal, 3 pembangkit cadangan (spare), dan satu pembangkit mikro yang terdapat pada pabrik Amurea 2. Data kapasitas pembangkitan masing-masing unit generator ditunjukkan pada Tabel 3.2.

**Tabel 3.2** Data Kapasitas Pembangkit pada PT. Petrokimia Gresik

No	ID	Lokasi	Daya Aktif (MW)	Daya Semu (MVA)	Teg. (kV)	Faktor Daya (PF)
1	GGCP	Amurea II	26.8	31.529	11	85%
2	GTG	Pabrik 1	33	41.25	11.5	80%
3	Revamp Gen	Pabrik 3B	17.5	20.588	6	80%
4	TG-65	Pabrik 3A	8.5	10.625	6	80%
5	TG-66	Pabrik 3A	11.5	14.375	6	80%
6	UBB Gen	UBB	32	40	6	80%
7	EG-65	Pabrik 3B(spare)	2	2.5	6	80%
8	EG-66	Pabrik 3B(spare)	2	2.5	6	80%
9	COGEN	UBB (spare)	12.5	14.706	6	85%
10	131-JG	Amurea 2 (mikro)	0.32	0.376	6.3	85%

### 3.4 Sistem Distribusi pada PT. Petrokimia Gresik

PT. Petrokimia Gresik menggunakan sistem jaringan distribusi yang menyerupai jaringan distribusi radial. Sistem jaringan distribusi pada PT. Petrokimia Gresik bukan merupakan jaringan radial murni dikarenakan hampir setiap pabrik disuplai oleh lebih dari satu feeder. Terdapat pengecualian pada pabrik 3A dikarenakan dalam kondisi normal pabrik tersebut tidak terhubung dengan jaringan lainnya dan hanya mendapatkan suplai daya dari pembangkit TG-65 dan TG-66.

PT. Petrokimia Gresik memiliki beberapa *level* tegangan yang berbeda. Nilai tegangan yang digunakan pada gardu induk (*switchgear*), bus *feeder*, dan pabrik antara lain adalah 6 kV, 6.3 kV, 11 kV, 11.5 kV, dan 20 kV. Untuk menghubungkan jaringan dengan beberapa *level* tegangan tersebut, digunakan transformator jenis *step up* dan jenis *step down*. Selain itu untuk melindungi sistem dari gangguan satu fasa ke tanah, digunakan transformator *zigzag* pada Pabrik 2. Rincian data mengenai transformator ditunjukkan pada Tabel 3.3.

**Tabel 3.3** Data Transformator Distribusi yang Digunakan pada Jaringan Interkoneksi di PT. Petrokimia Gresik

ID	Lokasi	MVA	kV	%Z	Hubungan
IT	Amurea 2	30	11/20	11	$\Delta/Y$
TRAFO UBB	UBB	35	6/20	10	$\Delta/Y$
TR GI	GI 20 kV PKG	25	20/11.5	8	$\Delta/Y$
MAIN01	Pabrik 3B	8	20/6	8	$\Delta/Y$
TR1	Amurea 2	12.5	20/6.3	7.5	$\Delta/Y$
TR2	Amurea 2	12.5	20/6.3	7.5	$\Delta/Y$
TR-2281 A	Pabrik 1	25	11.5/6	8	$\Delta/Y$
TR-2281 B	Pabrik 1	25	11.5/6	8	$\Delta/Y$
09-TR-101	Pabrik 2	5	20/6	7	$\Delta/Y$
TR 13	Pabrik 2	16	20/6	8.33	$\Delta/Y$
TR 11	Pabrik 2	8	20/6	8	$\Delta/Y$
TR 12	Pabrik 2	8	20/6	8.33	$\Delta/Y$
TR 14	Pabrik 2	8	20/6	8.33	$\Delta/Y$

**Tabel 3.3** Data Transformator Distribusi yang Digunakan pada Jaringan Interkoneksi di PT. Petrokimia Gresik (lanjutan)

32-TR-31.20/6kV	Pabrik 2	8	20/6	8	$\Delta/Y$
TR 14	Pabrik 2	16	20/6	8	$\Delta/Y$

### 3.5 Sistem Pengaman Arus Lebih

Sistem pengaman arus lebih dibutuhkan untuk melindungi sistem dari gangguan arus lebih yang terdapat pada fasa maupun sistem pentanahan agar proses pengolahan dan produksi agar tidak terhenti atau terganggu. Untuk itu peralatan pengaman harus terkoordinasi dengan baik sehingga ketika terjadi gangguan arus lebih peralatan pengaman tersebut dapat mengisolir daerah gangguan secepat mungkin.

Peralatan yang sangat vital untuk mengamankan sistem dari gangguan arus lebih adalah rele arus lebih. Pada PT. Petrokimia Gresik, digunakan rele arus lebih dengan produsen (*manufacturer*) berbeda-beda. Dalam pengaturan rele arus lebih diperlukan nilai-nilai konstanta dari setiap produk, yang nilainya bervariasi antara satu *manufacturer* dengan *manufacturer* lainnya. Berikut adalah detail dari setiap rele arus lebih yang akan diatur pada tugas akhir ini:

1. Schneider Electric Sepam Series 10 [10] :

*Overcurrent*

*Pickup Range* : 0.1 – 2.4 x Sekunder CT

*Curve type* : IEC, IEEE

*Instantaneous*

*Pickup Range* : 0.1 – 24 x Sekunder CT

*Delay Range* : 0.05 – 300 detik

2. GE Multilin 345 [11] :

*Overcurrent*

*Pickup Range* : 0.04 – 20 x Sekunder CT

*Curve type* : IEC, IAC, ANSI

*Instantaneous*

*Pickup Range* : 0.05 – 20 x Sekunder CT

*Delay Range* : 0 – 300 detik

3. GE Multilin 489 [12] :
  - Overcurrent*
    - Pickup Range* : 0.15 – 20 x Sekunder CT
    - Curve type* : IEC, IAC, ANSI
  - Instantaneous*
    - Pickup Range* : 0.15 – 20 x Sekunder CT
    - Delay Range* : 0 – 100 detik
  
4. Siemens 7SJ62 [13] :
  - Overcurrent*
    - Pickup Range* : 0.1 – 2 x Sekunder CT
    - Curve type* : IEC, ANSI
  - Instantaneous*
    - Pickup Range* : 0.1 – 35 x Sekunder CT
    - Delay Range* : 0 – 60 detik
  
5. Merlin Gerin Sepam 40 [14] :
  - Overcurrent*
    - Pickup Range* : 0.1 – 2.4 x Sekunder CT
    - Curve type* : IEC, IAC, IEEE
  - Instantaneous*
    - Pickup Range* : 0.1 – 24 x Sekunder CT
    - Delay Range* : 0.05 – 300 detik
  
6. Merlin Gerin Sepam 1000 [15] :
  - Overcurrent*
    - Pickup Range* : 0.3 – 2.4 x Sekunder CT
    - Curve type* : IEC
  - Instantaneous*
    - Pickup Range* : 1 – 30 x Sekunder CT
    - Delay Range* : 0.025 – 2 detik

## **BAB 4**

### **HASIL SIMULASI DAN *SETTING* KOORDINASI RELE PROTEKSI PADA PT. PETROKIMIA GRESIK**

#### **4.1 Pemodelan Sistem Kelistrikan PT. Petrokimia Gresik**

Pemodelan sistem kelistrikan dari PT. Petrokimia Gresik dilakukan dengan cara membuat *single line diagram* pada *software* ETAP 12.6 dengan memperhatikan data – data peralatan yang meliputi transformator, generator, kabel, *bus*, rele *existing*, sistem pentanahan, serta beban yang pada *software* ETAP 12.6 dapat berupa beban individual, tergabung dalam suatu jaringan *network*, atau tergabung dalam suatu jaringan *composite motors*.

Pemodelan *single line diagram* sistem kelistrikan tersebut bertujuan agar dapat diketahui kondisi sistem kelistrikan *existing* serta kondisi sistem kelistrikan setelah pembangunan pabrik Amurea II dan *Independent Power Plant – Gresik Gas Cogeneration Plant*. Setelah melakukan pemodelan sistem kelistrikan PT. Petrokimia Gresik, akan dilakukan perhitungan dan pengaturan koordinasi proteksi dari berbagai jenis rele yang digunakan pada masing-masing tipikal yang akan ditentukan.

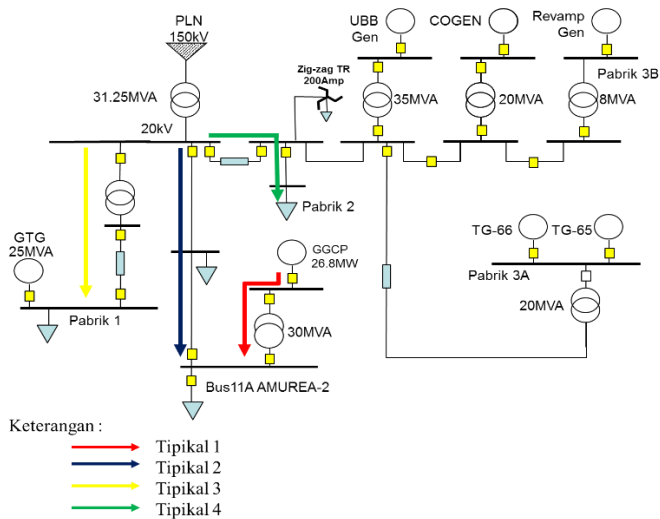
#### **4.2 Pemilihan Tipikal Koordinasi pada PT. Petrokimia Gresik**

Dalam rangka memudahkan proses setting rele proteksi pada studi koordinasi proteksi PT. Petrokimia Gresik, akan dipilih 4 tipikal untuk dilakukan koordinasi rele gangguan fasa dan 3 tipikal untuk dilakukan koordinasi rele gangguan tanah. Tipikal yang digunakan dalam Koordinasi rele gangguan fasa meliputi tipikal pada sistem kelistrikan baru (beban pabrik Amurea II dan *IPP GGCP*) dan tipikal yang mewakili jaringan *existing* yang terhubung dengan sistem kelistrikan baru tersebut. Karena pada PT. Petrokimia Gresik terdapat transformator zigzag, maka tipikal koordinasi gangguan ke tanah yang ditentukan akan berupa satu tipikal yang kemudian saya bagi menjadi tiga bagian. Berikut adalah tipikal-tipikal yang saya ambil :

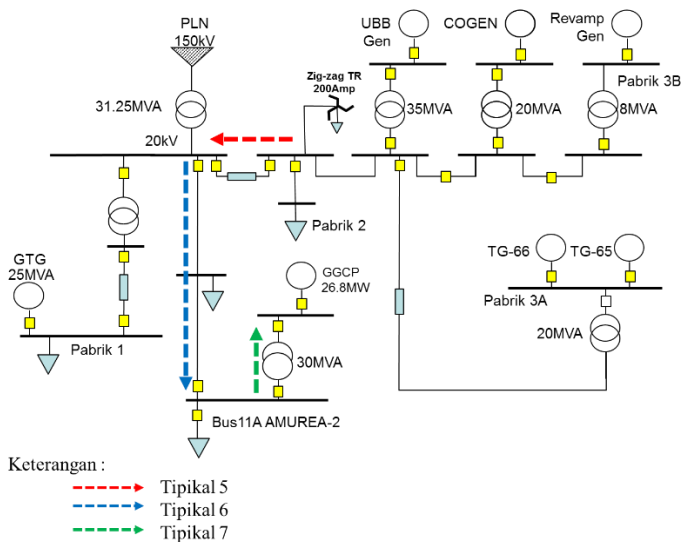
1. Tipikal 1 : Koordinasi rele arus lebih fasa (50/51) dari generator GGCP yang terdapat pada bus 11kV MVSWGR sampai dengan Bus 11A yang terdapat pada pabrik AMUREA II. Rele yang akan *disetting* pada tipikal ini meliputi Relay 4, Relay 2, Relay 5, Relay 8, dan Relay 11.



2. Tipikal 2 : Koordinasi rele arus lebih fasa (50/51) dari sisi sekunder transformator TR PLN pada bus HVS-00-20kV/GI A sampai dengan Bus 11A yang terdapat pada pabrik AMUREA II. Rele yang akan *disetting* pada tipikal ini meliputi Relay-GI02, Relay-GI04, Relay 3, dan Relay 12.
3. Tipikal 3 : Koordinasi rele arus lebih fasa (50/51) dari bus HVS-00-20kV/GI B sampai dengan BUS GTG yang terdapat pada pabrik 1. Rele yang akan *disetting* pada tipikal ini meliputi Relay-GI08, Relay-GI11, Relay-CB5, dan Relay CB-1.
4. Tipikal 4 : Koordinasi rele arus lebih fasa (50/51) dari bus HVS-00-20kV/GI A sampai dengan bus HVS-00-10kV/UT-L-P B yang terdapat pada pabrik 2. Rele yang akan *disetting* pada tipikal ini meliputi Relay-GI06, Relay-UT09, Relay-UT8, dan Relay-UT04.
5. Tipikal 5 : Koordinasi rele arus lebih gangguan ke tanah dari bus HVS-02.A/20kV B dimana terdapat transformator zigzag, sampai dengan bus HVS-00-20kV/GI A.. Rele yang akan *disetting* pada tipikal ini meliputi Relay-UT10, Relay-UT09, dan Relay-GI06.
6. Tipikal 6 : Koordinasi rele arus lebih gangguan ke tanah dari bus HVS-00-20kV/GI A sampai dengan Bus 11A yang terdapat pada pabrik AMUREA II. Rele yang akan *disetting* pada tipikal ini meliputi Relay-GI04, Relay 3, dan Relay 12. Pemilihan tipikal 6 ini dikarenakan saluran ini merupakan saluran penghubung antara sumber gangguan satu fasa ke tanah (Zigzag Transformer) dengan saluran antara pabrik AMUREA II ke generator GGCP.
7. Tipikal 7 : Koordinasi rele arus lebih gangguan ke tanah dari Bus 11A sampai dengan generator GGCP yang terdapat pada bus 11kV MVWGR. Rele yang akan *disetting* pada tipikal ini meliputi Relay 11, Relay 8, Relay 5, Relay 2, dan Relay 4. Pemilihan tipikal 7 ini dikarenakan saluran ini merupakan saluran penghubung antara pabrik AMUREA II dengan IPP GGCP yang akan dibangun.



**Gambar 4.1** Tipikal koordinasi rele arus lebih fasa PT. Petrokimia Gresik



**Gambar 4.2** Tipikal koordinasi rele arus lebih gangguan ke tanah PT. Petrokimia Gresik

### 4.3 Analisis Arus Gangguan Hubung Singkat

Dalam proses *setting* rele pengamanan arus lebih, diperlukan data arus gangguan hubung singkat pada setiap bus atau peralatan yang dilindungi oleh rele pengamanan arus lebih. Untuk keperluan analisis arus gangguan hubung singkat diperlukan dua parameter, yakni arus gangguan hubung singkat maksimum dan arus gangguan hubung singkat minimum. Hubung singkat maksimum adalah hubung singkat 3 fasa sementara hubung singkat minimum adalah hubung singkat 2 fasa (*line-to-line fault*). Data arus hubung singkat yang diperlukan pada tugas akhir ini adalah arus hubung singkat minimum 30 *cycle* dan arus hubung singkat maksimum 4 *cycle*.

#### 4.3.1 Analisis Hubung Singkat Minimum 30 *cycle*

Arus hubung singkat minimum adalah arus hubung singkat dua fasa pada saat keadaan *steady state* (30 *cycle*) ketika pembangkitan minimum. Pada sistem kelistrikan PT. Petrokimia Gresik, kondisi pembangkitan minimum adalah saat pola operasi normal, dimana terdapat 3 generator yang tidak aktif yaitu generator COGEN, EG-65, dan EG-66. Nilai arus hubung singkat minimum ini diperlukan sebagai batas *setting pick up* kurva rele arus lebih waktu instan, sehingga ketika terjadi gangguan hubung singkat minimum rele akan bekerja dengan instan sesuai *time delay* yang telah ditentukan. Nilai arus hubung singkat minimum pada bus-bus yang termasuk dalam tipikal ditunjukkan pada Tabel 4.1.

**Tabel 4.1** Data arus hubung singkat minimum pada bus utama

No	ID Bus	Tegangan	Arus hubung singkat 2 fasa 30 <i>cycle</i>
1	<b>11kV MVSWGR</b>	11 kV	14,65 kA
2	<b>20kV MVSWGR</b>	20 kV	12,59 kA
3	<b>Bus11A</b>	20 kV	12,73 kA
4	<b>20BUS86</b>	20 kV	14,15 kA
5	<b>HVS-00-20kV/GI A</b>	20 kV	14,16 kA
6	<b>HVS-00-20kV/GI B</b>	20 kV	14,16 kA
7	<b>Bus 11</b>	11.5 kV	15,77 kA

**Tabel 4.1** Data arus hubung singkat minimum pada bus utama (lanjutan)

8	<b>BUS GTG</b>	11.5 kV	15,76 kA
9	<b>HVS-02.A/20kV</b>	20 kV	12,87 kA
10	<b>HVS-02.A/20kV B</b>	20 kV	12,87 kA
11	<b>HVS-00-20kV/UT-L-P B</b>	20 kV	12,87 kA

Untuk keperluan *setting* rele arus lebih waktu tertentu / instan pada sistem kelistrikan PT. Petrokimia Gresik, dibutuhkan data arus hubung singkat yang melewati rele tertentu dikarenakan pada sistem kelistrikan ini beban pabrik disuplai oleh lebih dari satu sumber (*feeder*). Kondisi ini akan menyebabkan rele merasakan arus hubung singkat yang berbeda tergantung dari titik terjadinya gangguan. Data arus hubung singkat minimum 30 *cycle* digunakan untuk melakukan setting *instantaneous pickup* pada rele, sedangkan data arus hubung singkat maksimum 30 *cycle* digunakan untuk mencari *time dial* dari rele yang beroperasi pada waktu > 0.1s, sesuai dengan teori yang dipaparkan pada bab 2. Data arus hubung singkat minimum dan maksimum 30 *cycle* yang mengalir pada rele ditunjukkan pada Tabel 4.2 dan Tabel 4.3.

**Tabel 4.2** Data arus hubung singkat minimum melewati rele pada masing masing tipikal

Tipikal	ID Rele	Lokasi gangguan	Arus hubung singkat 2 fasa 30 <i>cycle</i> yang melewati rele
1	<b>Relay 11</b>	Bus11A	2,32 kA
	<b>Relay 8</b>	Bus11A	2,32 kA
	<b>Relay 5</b>	20kV MVSWGR	2,33 kA
	<b>Relay 2</b>	Sisi primer transformator IT	6,97 kA
	<b>Relay 4</b>	11kV MVSWGR	6,97 kA
2	<b>Relay 12</b>	Bus11A	10,47 kA
	<b>Relay 3</b>	Bus11A	10,47 kA
	<b>Relay-GI04</b>	20BUS86	12,03 kA
	<b>Relay-GI02</b>	HVS-00-20kV/GI A	6,26 kA

**Tabel 4.2** Data arus hubung singkat minimum melewati rele pada masing masing tipikal (lanjutan)

3	<b>Relay-GI08</b>	HVS-00-20kV/GI B	2,83 kA
	<b>Relay-GI11</b>	Bus11	7,81 kA
	<b>Relay-CB5</b>	BUS GTG	7,89 kA
	<b>Relay CB-1</b>	BUS GTG	8,03 kA
4	<b>Relay-UT04</b>	Sisi primer transformator TR 12	12,87 kA
	<b>Relay-UT8</b>	HVS-00-20kV/ UT-L-P-B	12,87 kA
	<b>Relay-UT09</b>	HVS-02.A/20kV	9,84 kA
	<b>Relay-GI06</b>	HVS-00-20kV /GI A	2,97 kA

**Tabel 4.3** Data arus hubung singkat maksimum melewati rele pada masing masing tipikal

Tipikal	ID Rele	Lokasi gangguan	Arus hubung singkat 3 fasa 30 cycle yang melewati rele
1	<b>Relay 11</b>	Bus11A	2,4 kA
	<b>Relay 8</b>	Bus11A	2,4 kA
	<b>Relay 5</b>	20kV MVSWGR	2,4 kA
	<b>Relay 2</b>	Sisi primer transformator IT	6,75 kA
	<b>Relay 4</b>	11kV MVSWGR	6,75 kA
2	<b>Relay 12</b>	Bus11A	11,5 kA
	<b>Relay 3</b>	Bus11A	11,5 kA
	<b>Relay-GI04</b>	20BUS86	13,09 kA
	<b>Relay-GI02</b>	HVS-00-20kV/GI A	7,14 kA
3	<b>Relay-GI08</b>	HVS-00-20kV/GI B	2,85 kA
	<b>Relay-GI11</b>	Bus11	9,14 kA
	<b>Relay-CB5</b>	BUS GTG	8,9 kA
	<b>Relay CB-1</b>	BUS GTG	7,39 kA

**Tabel 4.3** Data arus hubung singkat maksimum melewati rele pada masing masing tipikal (lanjutan)

<b>4</b>	<b>Relay-UT04</b>	Sisi primer transformator TR 12	14,09 kA
	<b>Relay-UT8</b>	HVS-00-20kV/ UT-L-P-B	14,09 kA
	<b>Relay-UT09</b>	HVS-02.A/20kV	10,91 kA
	<b>Relay-GI06</b>	HVS-00-20kV /GI A	3,12 kA

#### 4.3.2 Analisis Hubung Singkat Maksimum 4 cycle

Arus hubung singkat maksimum adalah arus hubung singkat tiga fasa. Pada proses *setting* rele arus lebih tugas akhir ini, dibutuhkan data arus gangguan hubung singkat maksimum 4 cycle untuk keperluan perhitungan *time dial* kurva invers dan *setting* rele pengaman transformator. Data arus gangguan hubung singkat maksimum 4 cycle diperlukan untuk *setting* rele arus lebih yang bekerja pada waktu mendekati 4 cycle (0.08s). Pada fase 4 cycle sampai dengan 30 cycle (fase transien), motor masih memberikan arus kontribusi ke titik terjadinya gangguan. Pada tabel 4.3 ditunjukkan data arus hubung singkat maksimum pada bus utama.

**Tabel 4.4** Data arus hubung singkat maksimum 4 cycle pada bus utama

No	ID Bus	Tegangan	Arus hubung singkat 3 fasa 4 cycle
1	<b>11kV MVSWGR</b>	11 kV	19,47 kA
2	<b>20kV MVSWGR</b>	20 kV	18,57 kA
3	<b>Bus11A</b>	20 kV	18,85 kA
4	<b>20BUS86</b>	20 kV	21,71 kA
5	<b>HVS-00-20kV/GI A</b>	20 kV	21,74 kA
6	<b>HVS-00-20kV/GI B</b>	20 kV	21,74 kA
7	<b>Bus 11</b>	11.5 kV	23,95 kA
8	<b>BUS GTG</b>	11.5 kV	24,21 kA
9	<b>HVS-02.A/20kV</b>	20 kV	19,7 kA
10	<b>HVS-02.A/20kV B</b>	20 kV	19,7 kA
11	<b>HVS-00-20kV/UT-L-P B</b>	20 kV	19,7 kA

Untuk keperluan *setting* rele arus lebih waktu invers pada sistem kelistrikan PT. Petrokimia Gresik, dibutuhkan data arus hubung singkat maksimum 4 *cycle* untuk mencari nilai *time dial* pada rele yang memiliki waktu operasi  $\leq 0.1s$ , sesuai teori yang dipaparkan pada bab 2. Data arus hubung singkat yang mengalir pada rele ditunjukkan pada Tabel 4.5.

**Tabel 4.5** Data arus hubung singkat 4 *cycle* melewati rele pada masing masing tipikal

Tipikal	ID Rele	Lokasi gangguan	Arus hubung singkat 2 fasa 30 <i>cycle</i> yang melewati rele
1	<b>Relay 12</b>	Bus11A	3,05 kA
	<b>Relay 8</b>	Bus11A	3,05 kA
	<b>Relay 5</b>	20kV MVSWGR	3,06 kA
	<b>Relay 2</b>	Sisi primer transformator IT	9,76 kA
	<b>Relay 4</b>	11kV MVSWGR	9,56 kA
2	<b>Relay 12</b>	Bus11A	15,1 kA
	<b>Relay 3</b>	Bus11A	15,1 kA
	<b>Relay-GI04</b>	20BUS86	17,98 kA
	<b>Relay-GI02</b>	HVS-00-20kV/GI A	7,14 kA
3	<b>Relay-GI08</b>	HVS-00-20kV/GI B	4,19 kA
	<b>Relay-GI11</b>	Bus11	13,58 kA
	<b>Relay-CB5</b>	BUS GTG	10,05 kA
	<b>Relay CB-1</b>	BUS GTG	10,88 kA
4	<b>Relay-UT04</b>	Sisi primer transformator TR 12	19,37 kA
	<b>Relay-UT8</b>	HVS-00-20kV/UT-L-P-B	18,56 kA
	<b>Relay-UT09</b>	HVS-02.A/20kV	13,52 kA
	<b>Relay-GI06</b>	HVS-00-20kV /GI A	5,88 kA

#### 4.4 Koordinasi Rele Arus Lebih untuk Gangguan Fasa

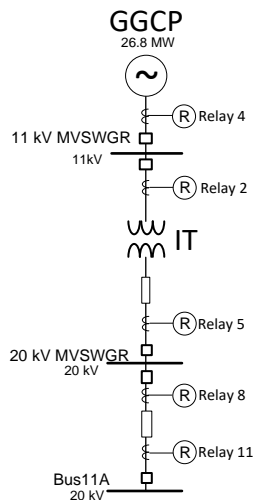
Koordinasi rele arus lebih gangguan fasa adalah koordinasi rele pengaman saat terjadi gangguan arus lebih berupa gangguan beban lebih (*overload*) dan gangguan hubung singkat (*short circuit*).

Pada proses *setting* rele arus lebih, umumnya terdapat beberapa parameter yaitu *pick up lowset* dan *time dial* untuk kurva *overcurrent*, dan *pick up high set* dan *time dial* untuk kurva *instantaneous*. Berdasarkan standard IEEE 242, selisih waktu kerja antara rele primer dan rele backup (*grading time*) untuk rele jenis digital adalah 0,2 sampai 0,3 detik.

Setelah melakukan *setting* rele arus lebih, langkah selanjutnya adalah plot *Time Current Curve* dengan menggunakan mode *Star-Protective Device Coordination* pada *software* ETAP 12.6. Setelah melakukan plot selanjutnya adalah melakukan peninjauan antara kurva rele-rele pada satu tipikal.

##### 4.4.1 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 1

Tipikal 1 adalah koordinasi pengaman dari pembangkit baru GGCP sampai dengan *feeder* pabrik AMUREA II. Pada tipikal ini terdapat transformator *step up* 11/20 kV sehingga dibutuhkan pengaturan rele pelindung transformator sesuai teori yang telah dipaparkan pada bab 2. Gambar rangkaian tipikal 1 ditunjukkan pada Gambar 4.3.



**Gambar 4.3** Rangkaian *single line diagram* tipikal 1



Dari gambar 4.3 dapat dilihat bahwa antara Relay 11 dan Relay 8 adalah saluran penghubung, sehingga setting dari kedua rele berikut dapat dibuat identik. Dalam pengaturan Relay 11 dan 8 diperlukan data *Full Load Ampere* (FLA) yang didapatkan dari nilai FLA primer transformator di bawah Bus11A sebesar 577,4 Ampere.

Berikut merupakan perhitungan parameter yang diperlukan untuk *setting* masing-masing rele pada tipikal 1.

- **Relay 11**

<i>Manufacturer</i>	: Siemens
<i>Model</i>	: 7SJ62
Jumlah FLA primer trafo TR1 dan TR2	: 577,4 A
Iscmin 30 cycle Bus11A	
melalui Relay 11	: 2,32 kA
Iscmax 30 cycle Bus 11A	
melalui Relay 11	: 3,4 kA
<i>Curve Type</i>	: IEC - <i>Normal Inverse</i>
<i>CT Ratio</i>	: 800 / 1

**Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \times \text{FLA (TR1 + TR2)} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA (TR1 + TR2)}$$

$$1,05 \times 577,4 < \text{Iset} < 1,4 \times 577,4$$

$$606,27 < \text{Iset} < 808,36$$

$$\frac{606,27}{800} \text{In} < \text{Tap} < \frac{808,36}{800} \text{In}$$

$$0,76 \text{In} < \text{Tap} < 1,0105 \text{In}$$

(range : 0,1 In sampai 2 In, dengan *step* 0,01 In)

Dipilih tap = 0.8 In

Iset = 640 A

**Time dial**

Waktu operasi (t) = 0,3 s

Menurut *Datasheet* rele Siemens 7SJ62, penentuan *time delay* dari tipe kurva IEC - *Normal Inverse* dapat menggunakan rumus :

$$t_d = \frac{0,14 \times T}{2,97 \times \left[ \left( \frac{\text{Iscmax 30 cycle}}{\text{Iset}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$T = \frac{t_d \times 2.97 \times \left[ \left( \frac{I_{scmax} 30 \text{ cycle}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = \frac{0,3 \times 2.97 \times \left[ \left( \frac{2400}{640} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

T = 0,17048 (dengan step 0.01)  
time dial = 0,21

#### Instantaneous Pickup

$1,6 \times FLA(TR1 + TR2) < I_{set} < 0,8 \times I_{sc} \text{ min mengalir pada Relay 11}$

$$1,6 \times 577,4 < I_{set} < 0,8 \times 2320$$

$$923,84 < I_{set} < 1856$$

$$\frac{923,84}{800} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{1856}{800} \text{ In}$$

$$1,1548 \text{ In} < \text{Tap} < 2,32 \text{ In}$$

(range : 0,1 In sampai 35 In, dengan step 0,01 In)

Dipilih tap = 2,31 In

Iset = 1848 A

#### Time delay

Dipilih time delay = 0,3 s

- **Relay 8**

*Manufacturer*

: Schneider Electric

*Model*

: Sepam Series 10

Jumlah FLA primer transformtor

TR1 dan TR2

: 577,4 A

Iscmin 30 cycle Bus11A

melalui Relay 8

: 2,32 kA

Iscmax 30 cycle Bus 11A

melalui Relay 8

: 2,4 kA

*Curve Type*

: IEC – SIT/A

*CT Ratio*

: 500 / 1

### Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA} (\text{TR1} + \text{TR2}) < I_{\text{set}} < 1,4 \times \text{FLA} (\text{TR1} + \text{TR2})$$

$$1,05 \times 577,4 < I_{\text{set}} < 1,4 \times 577,4$$

$$606,27 < I_{\text{set}} < 808,36$$

$$\frac{606,27}{500} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{808,36}{500} \text{ In}$$

$$1,21 \text{ In} < \text{Tap} < 1,6167 \text{ In}$$

(range : 0,1 In sampai 2,4 In, dengan step 0,01 In)

Dipilih tap = 1,28 In

Iset = 640 A

### Time dial

Waktu operasi (t) = 0,3 s

Menurut *Datasheet* rele Schneider Electric Sepam 10, penentuan *time delay* dari tipe kurva IEC – SIT/A dapat menggunakan rumus yang sama seperti *setting time dial* Relay 11, yaitu :

$$t_d = \frac{0,14 \times T}{2,97 \times \left[ \left( \frac{I_{\text{scmax}} 30 \text{ cycle}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

Karena rumus, nilai parameter, nilai Iscmin 4 cycle dan nilai Iset pada Relay 8 sama dengan Relay 11, maka nilai *time dial* yang akan didapatkan juga akan sama, yaitu T = 0,17048 .

Maka,

$$\text{time dial} = 0,21$$

### Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{FLA} (\text{TR1} + \text{TR2}) < I_{\text{set}} < 0,8 \times \text{Isc min mengalir pada Relay 11}$$

$$1,6 \times 577,4 < I_{\text{set}} < 0,8 \times 2320$$

$$923,84 < I_{\text{set}} < 1856$$

$$\frac{923,84}{500} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{1856}{500} \text{ In}$$

$$1,84768 \text{ In} < \text{Tap} < 3,712 \text{ In}$$

(range : 0,1 In sampai 24 In, dengan step 0,1 In)

Dipilih tap = 3,7 In

Iset = 1850 A

### Time delay

Dipilih *time delay* = 0,3 s

- **Relay 5**

<i>Manufacturer</i>	: General Electric Multilin
<i>Model</i>	: 345
FLA Sekunder Transformator IT	: 866 A
Iscmin 30 cycle bus 20kV MVSWGR melalui Relay 5	: 2,33 kA
Iscmax 30 cycle bus 20kV MVSWGR melalui Relay 5	: 2,4 kA
<i>Curve Type</i>	: IEC - A
<i>CT Ratio</i>	: 800 / 1

**Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \times \text{FLA sekunder IT} < I_{set} < 1,4 \times \text{FLA sekunder IT}$$

$$1,05 \times 866 < I_{set} < 1,4 \times 866$$

$$909,3 < I_{set} < 1212,4$$

$$\frac{909,3}{800} I_n < Tap < \frac{1212,4}{800} I_n$$

$$1,14 I_n < Tap < 1,5155 I_n$$

(range : 0,04 In sampai 20 In, dengan step 0,01 In)

Dipilih tap = 1,2 In

Iset = 960 A

**Time dial**

Waktu operasi (t) = 0,5 s

Menurut *Datasheet* rele GE Multilin 345, penentuan *time delay* dari tipe kurva IEC - A dapat menggunakan rumus :

$$t_d = T \times \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{I_{scmax \ 30 \ cycle}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$T = \frac{0,5 \times \left[ \left( \frac{2400}{960} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = 0,066$$

(dengan step 0.01)

*time dial set* = 0,2

Instantaneous Pickup

$1,6 \times \text{FLA sekunder IT} < I_{set} < 0,8 \times \text{Isc min mengalir pada Relay 5}$

$$1,6 \times 866 < I_{set} < 0,8 \times 2330$$

$$1385,6 < I_{set} < 1864$$

$$\frac{1385,6}{800} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{1864}{800} \text{ In}$$

$$1,732 \text{ In} < \text{Tap} < 2,33 \text{ In}$$

(range : 0,05 In sampai 20 In, dengan step 0,01 In)

Dipilih tap = 2,32 In

Iset = 1856 A

Time delay

Dipilih time delay = 0,5 s

• **Relay 2**

Manufacturer : General Electric Multilin

Model : 345

FLA primer Transformator IT : 1575 A

Iscmin 30 cycle sisi primer  
transformator IT melalui Relay 2 : 6,97 kA

Iscmax 30 cycle sisi primer  
transformator IT melalui Relay 2 : 6,75 kA

Iscmin 30 cycle bus 11kV MVSWGR : 14,65 kA (11kV)

Iscmax 4 cycle bus 20kV MVSWGR : 18,57 kA (20kV)

Konversi ke 11kV :  $\frac{20}{11} \times 18,57 = 33,76 \text{ kA (11 kV)}$

Curve Type : IEC - A

CT Ratio : 1800 / 1

Time Overcurrent Pickup

$1,05 \times \text{FLA primer IT} < I_{set} < 1,4 \times \text{FLA primer IT}$

$$1,05 \times 1575 < I_{set} < 1,4 \times 1575$$

$$1653,75 < I_{set} < 2205$$

$$\frac{1653,75}{1800} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{2205}{1800} \text{ In}$$

$$0,92 \text{ In} < \text{Tap} < 1,225 \text{ In}$$

(range : 0,04 In sampai 20 In, dengan step 0,01 In)

Dipilih tap = 0,96 In

Iset = 1728 A

### Time dial

Waktu operasi (t) = 0,7 s

Menurut *Datasheet* rele GE Multilin 345, penentuan *time delay* dari tipe kurva IEC - A dapat menggunakan rumus :

$$t_d = T \times \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{I_{scmax} \text{ 30 cycle}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$T = \frac{0,7 \times \left[ \left( \frac{6750}{1728} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = 0,138 \quad (\text{dengan step } 0,01)$$

$$\text{time dial set} = 0,3$$

### Instantaneous Pickup

Relay 2 adalah rele pelindung transformator, oleh Karena itu dalam proses *setting* kurva *instantaneous* harus memperhatikan kondisi sesuai yang telah dipaparkan pada bab 2. Pada bagian sebelumnya, diperoleh data :

$$I_{scmin} \text{ 30 cycle bus 11kV MVSWGR} = 14,65 \text{ kA (11kV)}$$

$$I_{scmax} \text{ 4 cycle bus 20kV MVSWGR} = 33,76 \text{ kA (11 kV)}$$

Karena dari data tersebut didapatkan kondisi :

$$I_{scmax} \text{ 4 cycle sisi sekunder} > 0,8 \times I_{scmin} \text{ 30 cycle sisi primer}$$

Maka :

$$I_{set} < 0,8 \times I_{sc} \text{ min mengalir pada Relay 2}$$

$$I_{set} < 0,8 \times 6970$$

$$I_{set} < 5576$$

$$\text{Tap} < \frac{5576}{1800} \text{ In}$$

$$\text{Tap} < 3,0977 \text{ In}$$

(range : 0,05 In sampai 20 In, dengan step 0,01 In)

$$\text{Dipilih tap} = 2,4 \text{ In}$$

$$I_{set} = 4320 \text{ A}$$

### Time delay

$$\text{Dipilih time delay} = 0,7 \text{ s}$$

- **Relay 4**

<i>Manufacturer</i>	: General Electric Multilin
<i>Model</i>	: 489
FLA Sekunder Transformator IT	: 1655A
Iscmin 30 cycle bus 11kV MVSWGR melalui Relay 4	: 6,97 kA
Iscmax 30 cycle bus 11kV MVSWGR melalui Relay 4	: 6750 kA
<i>Curve Type</i>	: IEC - A
<i>CT Ratio</i>	: 1800 / 1

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA GGCP} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA GGCP}$$

$$1,05 \times 1655 < \text{Iset} < 1,4 \times 1655$$

$$1737,75 < \text{Iset} < 2317$$

$$\frac{1737,75}{1800} \text{In} < \text{Tap} < \frac{2317}{1800} \text{In}$$

$$0,97 \text{In} < \text{Tap} < 1,2872 \text{In}$$

(range : 0,15 In sampai 20 In, dengan step 0,01 In)

Dipilih tap = 1 In

Iset = 1800 A

Time dial

Waktu operasi (t) = 0,9 s

Menurut *Datasheet* rele GE Multilin 489, penentuan *time delay* dari tipe kurva IEC - A dapat menggunakan rumus :

$$t_d = T \times \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{\text{Iscmax 30 cycle}}{\text{Iset}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$T = \frac{0,9 \times \left[ \left( \frac{6750}{1800} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = 0,1722 \quad (\text{dengan step } 0.01)$$

*time dial set* = 0,4

### Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{FLA GGCP} < I_{\text{set}} < 0,8 \times I_{\text{sc min mengalir pada Relay 5}}$$

$$1,6 \times 1655 < I_{\text{set}} < 0,8 \times 6970$$

$$2648 < I_{\text{set}} < 5576$$

$$\frac{2648}{1800} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{5576}{1800} \text{ In}$$

$$1,4711 \text{ In} < \text{Tap} < 3,0977 \text{ In}$$

(range : 0,15 In sampai 20 In, dengan step 0,01 In)

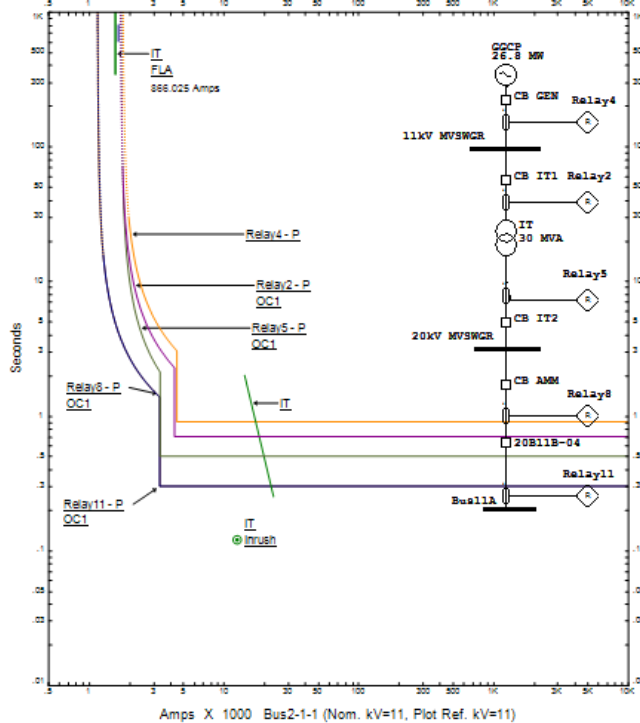
Dipilih tap = 2,5 In

Iset = 4500 A

### Time delay

Dipilih time delay = 0,9 s

Gambar 4.4 merupakan *plot Time Current Curve* hasil perhitungan dan *setting* koordinasi proteksi tipikal 1.

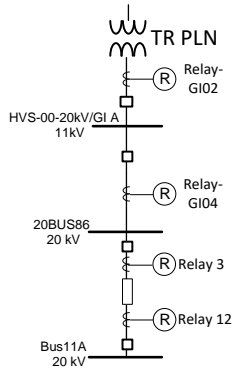


**Gambar 4.4** Plot Time-current curve tipikal 1



#### 4.4.2 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 2

Tipikal 2 adalah koordinasi pengamanan dari rele pelindung sekunder transformator sumber PLN sampai dengan *feeder* pabrik AMUREA II. Gambar rangkaian tipikal 2 ditunjukkan pada Gambar 4.5.



**Gambar 4.5** Rangkaian *single line diagram* tipikal 2

Berikut merupakan perhitungan parameter yang diperlukan untuk *setting* dari masing-masing rele pada tipikal 2.

- **Relay 12**

*Manufacturer* : Siemens

*Model* : 7SJ62

Jumlah FLA primer trafo TR1 dan TR2 : 577,4 A

Iscmin 30 cycle Bus11A

melalui Relay 12 : 10,47 kA

Iscmax 30 cycle Bus 11A

melalui Relay 12 : 11,5 kA

*Curve Type* : IEC - *Normal Inverse*

*CT Ratio* : 800 / 1

**Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \times \text{FLA (TR1 + TR2)} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA (TR1 + TR2)}$$

$$1,05 \times 577,4 < \text{Iset} < 1,4 \times 577,4$$

$$606,27 < \text{Iset} < 808,36$$

$$\frac{606,27}{800} \text{In} < \text{Tap} < \frac{808,36}{800} \text{In}$$

$0,76 \text{ In} < \text{Tap} < 1,0105 \text{ In}$   
 (range : 0,1 In sampai 2 In, dengan step 0,01 In)  
 Dipilih tap = 0.8 In  
 Iset = 640 A

Time dial

Waktu operasi (t) = 0,3 s  
 Menurut *Datasheet* rele Siemens 7SJ62, penentuan *time delay* dari tipe kurva IEC - *Normal Inverse* dapat menggunakan rumus :

$$t_d = \frac{0,14 \times T}{2,97 \times \left[ \left( \frac{I_{scmax} 30 \text{ cycle}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$T = \frac{0,3 \times 2,97 \times \left[ \left( \frac{11500}{640} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

T = 0,3785 (dengan step 0.01)  
*time dial* = 0,42

Instantaneous Pickup

$1,6 \times \text{FLA}(\text{TR1} + \text{TR2}) < I_{set} < 0,8 \times \text{Isc min mengalir pada Relay 12}$

$$1,6 \times 577,4 < I_{set} < 0,8 \times 10470$$

$$923,84 < I_{set} < 8376$$

$$\frac{923,84}{800} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{8376}{800} \text{ In}$$

$$1,1548 \text{ In} < \text{Tap} < 10,47 \text{ In}$$

(range : 0,1 In sampai 35 In, dengan step 0,01 In)

Dipilih tap = 2,31 In  
 Iset = 1848 A

Time delay

Dipilih *time delay* = 0,3 s

- **Relay 3**

<i>Manufacturer</i>	: Schneider Electric
<i>Model</i>	: Sepam Series 10
Jumlah FLA primer transformtor TR1 dan TR2	: 577,4 A
Iscmin 30 cycle Bus11A melalui Relay 3	: 10,47 kA
Iscmax 30 cycle Bus 11A melalui Relay 3	: 11,5 kA
<i>Curve Type</i>	: IEC – SIT/A
<i>CT Ratio</i>	: 500 / 1

*Time Overcurrent Pickup*

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA (TR1 + TR2)} &< \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA (TR1 + TR2)} \\
 1,05 \times 577,4 &< \text{Iset} < 1,4 \times 577,4 \\
 606,27 &< \text{Iset} < 808,36 \\
 \frac{606,27}{500} \text{ In} &< \text{Tap} < \frac{808,36}{500} \text{ In} \\
 1,21 \text{ In} &< \text{Tap} < 1,6167 \text{ In} \\
 (\text{range : } 0,1 \text{ In sampai } 2,4 \text{ In, dengan step } 0,01 \text{ In}) \\
 \text{Dipilih tap} &= 1,28 \text{ In} \\
 \text{Iset} &= 640 \text{ A}
 \end{aligned}$$

*Time dial*

Waktu operasi (t) = 0,3 s

Menurut *Datasheet* rele Schneider Electric Sepam 10, penentuan *time delay* dari tipe kurva IEC – SIT/A dapat menggunakan rumus yang sama seperti *setting time dial* Relay 12, yaitu :

$$t_d = \frac{0,14 \times T}{2,97 \times \left[ \left( \frac{\text{Iscmax 4 cycle}}{\text{Iset}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

Karena rumus *time dial*, nilai parameter, nilai Iscmin 4 cycle dan nilai Iset pada Relay 3 sama dengan Relay 12, maka nilai *time dial* yang akan didapatkan juga akan sama, yaitu T = 0,3785.  
maka,

$$\text{time dial set} = 0,42 \quad (\text{dengan step } 0,01)$$

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{FLA}(\text{TR1} + \text{TR2}) < I_{\text{set}} < 0,8 \times \text{Isc min mengalir pada Relay 3}$$

$$1,6 \times 577,4 < I_{\text{set}} < 0,8 \times 10470$$

$$923,84 < I_{\text{set}} < 8376$$

$$\frac{923,84}{500} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{8376}{500} \text{ In}$$

$$1,84768 \text{ In} < \text{Tap} < 16,752 \text{ In}$$

(range : 0,1 In sampai 24 In, dengan step 0,1 In)

Dipilih tap = 4 In

Iset = 2000 A

Time delay

Dipilih time delay = 0,3 s

- **Relay-GI04**

Manufacturer : Merlin Gerin

Model : Sepam 40

Jumlah FLA primer transformator

TR1, TR2, dan TR HVS-2210 : 649,57 A

Iscmin 30 cycle bus 20BUS86

melalui Relay-GI04 : 12,03 kA

Iscmax 30 cycle bus 20BUS86

melalui Relay-GI04 : 13,09 kA

Curve Type : IEC – Standard Inverse

CT Ratio : 800 / 5

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA Transformator} < I_{\text{set}} < 1,4 \times \text{FLA Transformator}$$

$$1,05 \times 649,57 < I_{\text{set}} < 1,4 \times 649,57$$

$$682,049 < I_{\text{set}} < 909,4$$

$$\frac{682,049}{800} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{909,4}{800} \text{ In}$$

$$0,85 \text{ In} < \text{Tap} < 1,1367 \text{ In}$$

(range : 0,1 In sampai 2,4 In, dengan step 0,01 In)

Dipilih tap = 0,9 In

Iset = 720 A

### Time dial

Waktu operasi ( $t$ ) = 0,5 s

Menurut *Datasheet* rele Merlin Gerin Sepam 40, penentuan *time delay* dari tipe kurva IEC – *Standard Inverse* dapat menggunakan rumus:

$$t_d = \frac{0,14 \times T}{2,97 \times \left[ \left( \frac{I_{scmax} 30 \text{ cycle}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$T = \frac{t_d \times 2,97 \times \left[ \left( \frac{I_{scmax} 30 \text{ cycle}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = \frac{0,5 \times 2,97 \times \left[ \left( \frac{13090}{720} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = 0,6334$$

$$time \text{ dial set} = 0,71 \quad (\text{dengan step } 0,01)$$

### Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA \text{ Trafo} < I_{set} < 0,8 \times I_{sc} \text{ min mengalir pada Relay-GI04}$$

$$1,6 \times 649,57 < I_{set} < 0,8 \times 12030$$

$$1039,31 < I_{set} < 9624$$

$$\frac{1039,31}{800} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{9624}{800} \text{ In}$$

$$1,299 \text{ In} < \text{Tap} < 12,03 \text{ In}$$

(range : 0,1 In sampai 24 In, dengan step 0,1 In)

Dipilih tap = 2,7 In

$$I_{set} = 2160 \text{ A}$$

### Time delay

Dipilih *time delay* = 0,5 s

- **Relay-GI02**

<i>Manufacturer</i>	: Merlin Gerin
<i>Model</i>	: Sepam 1000
FLA Sekunder TR PLN	: 721,7 A
Iscmin 30 cycle HVS-00-20kV/GI A melalui Relay-GI02	: 6,26 kA
Iscmax 4 cycle HVS-00-20kV/GI A melalui Relay-GI02	: 7,14 kA
<i>Curve Type</i>	: IEC – <i>Standard Inverse</i>
<i>CT Ratio</i>	: 1000 / 5

**Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \times \text{FLA sek. TR PLN} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA sek. TR PLN}$$

$$1,05 \times 721,7 < \text{Iset} < 1,4 \times 721,7$$

$$757,785 < \text{Iset} < 1010,4$$

$$\frac{757,785}{1000} \text{In} < \text{Tap} < \frac{1010,4}{1000} \text{In}$$

$$0,757 \text{In} < \text{Tap} < 1,0104 \text{In}$$

(range : 0,3 In sampai 2,4 In, dengan step 0,05 In)

Dipilih tap = 0,8 In

Iset = 800 A

**Time dial**

Waktu operasi (t) = 0,9 s

Menurut *Datasheet* rele Merlin Gerin Sepam 1000, penentuan *time delay* dari tipe kurva IEC – *Standard Inverse* dapat menggunakan rumus:

$$t_d = \frac{0,14 \times T}{2,97 \times \left[ \left( \frac{\text{Iscmax 30 cycle}}{\text{Iset}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$T = \frac{0,9 \times 2,97 \times \left[ \left( \frac{7140}{800} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = 0,8544$$

*time dial set* = 0,9 (dengan step 0.1)

### Instantaneous Pickup

$1,6 \times \text{FLA Trafo} < I_{\text{set}} < 0,8 \times I_{\text{sc min mengalir pada Relay-GI02}}$

$$1,6 \times 721,7 < I_{\text{set}} < 0,8 \times 6260$$

$$1154,72 < I_{\text{set}} < 5008$$

$$\frac{1154,72}{1000} I_n < \text{Tap} < \frac{5008}{1000} I_n$$

$$1,15472 I_n < \text{Tap} < 5,008 I_n$$

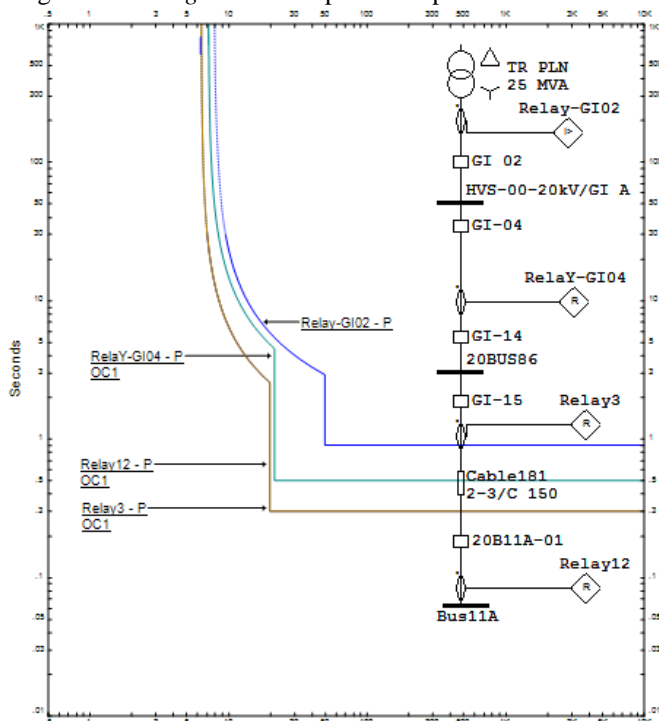
(range : 1 In sampai 30 In, dengan step 0,1 In)

Dipilih tap = 5 In

Iset = 5000 A

Dipilih time delay = 0,9 s

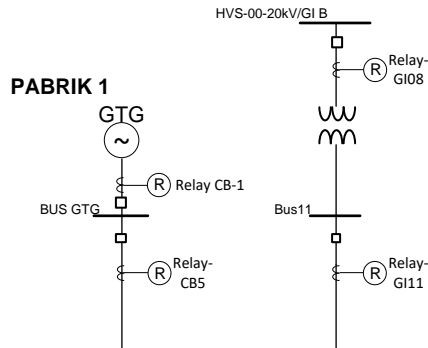
Gambar 4.6 merupakan *plot Time Current Curve* hasil perhitungan dan *setting* koordinasi proteksi tipikal 2.



**Gambar 4.6** Plot Time-current curve tipikal 2

#### 4.4.3 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 3

Tipikal 3 merupakan koordinasi pengamanan dari saluran penghubung *feeder* PLN melalui bus HVS-00-20kV/GI B dengan sistem kelistrikan pabrik 1. Gambar rangkaian tipikal 3 ditunjukkan pada Gambar 4.7.



**Gambar 4.7** Rangkaian *single line diagram* tipikal 3

Berikut merupakan perhitungan parameter yang diperlukan untuk *setting* dari masing-masing rele yang terdapat pada tipikal 3.

- **Relay-GI11**

<i>Manufacturer</i>	: Merlin Gerin
<i>Model</i>	: Sepam 1000
FLA Sekunder TR GI	: 1255 A
Iscmin 30 <i>cycle</i> pada Bus11 melalui Relay-GI11	: 7,81 kA
Iscmax 4 <i>cycle</i> pada Bus11 melalui Relay-GI11	: 7,23 kA
<i>Curve Type</i>	: IEC – <i>Standard Inverse</i>
<i>CT Ratio</i>	: 800 / 5

**Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \times \text{FLA sekunder TR GI} < I_{\text{set}} < 1,4 \times \text{FLA sekunder TR GI}$$

$$1,05 \times 1255 < I_{\text{set}} < 1,4 \times 1255$$

$$1317,75 < I_{\text{set}} < 1757$$



$$\frac{1317,75}{800} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{1757}{800} \text{ In}$$

$$1,65 \text{ In} < \text{Tap} < 2,1963 \text{ In}$$

(range : 0,3 In sampai 2,4 In, dengan step 0,05 In)

Dipilih tap = 1.85 In

Iset = 1480 A

### Time dial

Waktu operasi (t) = 0,3 s

Menurut *Datasheet* rele Merlin Gerin Sepam 1000, penentuan *time delay* dari tipe kurva IEC – *Standard Inverse* dapat menggunakan rumus:

$$t_d = \frac{0,14 \times T}{2.97 \times \left[ \left( \frac{I_{scmax} 30 \text{ cycle}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$T = \frac{0,3 \times 2.97 \times \left[ \left( \frac{7230}{1400} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = 0,2051$$

*time dial set* = 0,3 (dengan step 0.1)

### Instantaneous Pickup

$1,6 \times \text{FLA TR GI} < I_{set} < 0,8 \times \text{Isc min mengalir pada Relay-GI11}$

$$1,6 \times 1255 < I_{set} < 0,8 \times 7810$$

$$2008 < I_{set} < 6248$$

$$\frac{2008}{800} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{6248}{800} \text{ In}$$

$$2,51 \text{ In} < \text{Tap} < 7,81 \text{ In}$$

(range : 1 In sampai 30 In, dengan step 0,1 In)

Dipilih tap = 3,1 In

Iset = 2480 A

### Time delay

Dipilih *time delay* = 0,3 s

- **Relay-CB5**

<i>Manufacturer</i>	: Merlin Gerin
<i>Model</i>	: Sepam 1000
FLA Sekunder TR GI	: 1255 A
Iscmin 30 <i>cycle</i> pada BUS GTG melalui Relay-CB5	: 7,89 kA
Iscmax 4 <i>cycle</i> pada BUS GTG melalui Relay-CB5	: 8,9 kA
<i>Curve Type</i>	: IEC – <i>Standard Inverse</i>
<i>CT Ratio</i>	: 2500 / 5

**Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \times \text{FLA sekunder TR GI} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA sekunder TR GI}$$

$$1,05 \times 1255 < \text{Iset} < 1,4 \times 1255$$

$$1317,75 < \text{Iset} < 1757$$

$$\frac{1317,75}{2500} \text{In} < \text{Tap} < \frac{1757}{2500} \text{In}$$

$$0,53 \text{ In} < \text{Tap} < 0,7028 \text{ In}$$

(range : 0,3 In sampai 2,4 In, dengan *step* 0,05 In)

Dipilih tap = 0,6 In

Iset = 1500 A

**Time dial**

Waktu operasi (t) = 0,3 s

Menurut *Datasheet* rele Merlin Gerin Sepam 1000, penentuan *time delay* dari tipe kurva IEC – *Standard Inverse* dapat menggunakan rumus:

$$t_d = \frac{0,14 \times T}{2,97 \times \left[ \left( \frac{\text{Iscmax 30 cycle}}{\text{Iset}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$T = \frac{0,3 \times 2,97 \times \left[ \left( \frac{8900}{1500} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = 0,2307$$

$$\text{time dial set} = 0,3 \quad (\text{dengan step } 0,1)$$

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{FLA TR GI} < I_{set} < 0,8 \times \text{Isc min mengalir pada Relay-GI11}$$

$$1,6 \times 1255 < I_{set} < 0,8 \times 7890$$

$$2008 < I_{set} < 6312$$

$$\frac{2008}{2500} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{6248}{2500} \text{ In}$$

$$0,8032 \text{ In} < \text{Tap} < 2,5248 \text{ In}$$

(range : 1 In sampai 30 In, dengan step 0,1 In)

Dipilih tap = 1 In

Iset = 2500 A

Time delay

Dipilih time delay = 0,3 s

- **Relay-GI08**

Manufacturer : Merlin Gerin

Model : Sepam 1000

FLA primer TR GI : 721,7 A

Iscmin 30 cycle HVS-00-20kV/GI B  
melalui Relay-GI08 : 2,83 kA

Iscmax 30 cycle HVS-00-20kV/GI B  
melalui Relay-GI08 : 2,85 kA

Iscmin 30 cycle HVS-00-20kV/GI B : 14,16 kA (20 kV)

Iscmax 4 cycle Bus11 : 23,95 kA (11,5 kV)

$$\text{Konversi ke 20 kV} : \frac{11,5}{20} \times 23,95 = 13,771 \text{ kA (11,5 kV)}$$

Curve Type : IEC – Standard Inverse

CT Ratio : 800 / 5

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA primer TR GI} < I_{set} < 1,4 \times \text{FLA primer TR GI}$$

$$1,05 \times 721,7 < I_{set} < 1,4 \times 721,7$$

$$757,785 < I_{set} < 1010,4$$

$$\frac{757,785}{800} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{1010,4}{800} \text{ In}$$

$$0,95 \text{ In} < \text{Tap} < 1,263 \text{ In}$$

(range : 0,3 In sampai 2,4 In, dengan step 0,05 In)

Dipilih tap = 1 In

Iset = 800 A

### Time dial

Waktu operasi (t) = 0,5 s

Menurut *Datasheet* rele Merlin Gerin Sepam 1000, penentuan *time delay* dari tipe kurva IEC – *Standard Inverse* dapat menggunakan rumus :

$$t_d = \frac{0,14 \times T}{2,97 \times \left[ \left( \frac{I_{scmax} \text{ 30 cycle}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$T = \frac{0,5 \times 2,97 \times \left[ \left( \frac{2850}{800} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = 0,2729$$

$$\text{time dial set} = 1,3 \quad (\text{dengan step } 0,1)$$

### Instantaneous Pickup

Relay-GI08 merupakan rele pelindung transformator, oleh Karena itu dalam proses *setting* kurva *instantaneous* harus memperhatikan kondisi sesuai yang telah dipaparkan pada bab 2. Pada bagian sebelumnya, diperoleh data :

$$0,8 \times I_{scmin} \text{ 30 cycle HVS-00-20kV/GI B} = 0,8 \times 14160 \\ = 11,328 \text{ kA (11,5kV)}$$

$$I_{scmax} \text{ 4 cycle Bus 11} = 13,771 \text{ kA (11,5kV)}$$

Karena dari data tersebut didapatkan kondisi :

$I_{scmax} \text{ 4 cycle sisi sekunder} > 0,8 \times I_{scmin} \text{ 30 cycle sisi primer}$

Maka :

$$I_{set} < 0,8 \times I_{scmin} \text{ 30 cycle mengalir pada Relay-GI08}$$

$$I_{set} < 0,8 \times 2830$$

$$I_{set} < 2264$$

$$\text{Tap} < \frac{2264}{800} \text{ In}$$

$$\text{Tap} < 2,83 \text{ In}$$

(range : 1 In sampai 30 In, dengan step 0,1 In)

$$\text{Dipilih tap} = 2,7 \text{ In}$$

$$I_{set} = 2160 \text{ A}$$

### Time delay

$$\text{Dipilih time delay} = 0,5 \text{ s}$$

- **Relay CB-1**

<i>Manufacturer</i>	: Merlin Gerin
<i>Model</i>	: Sepam 1000
FLA Generator GTG	: 2071 A
Iscmin 30 cycle pada BUS GTG melalui Relay CB-1	: 8,03 kA
Iscmax 30 cycle pada BUS GTG melalui Relay CB-1	: 7,39 kA
<i>Curve Type</i>	: IEC – <i>Standard Inverse</i>
<i>CT Ratio</i>	: 3000 / 5

*Time Overcurrent Pickup*

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA Generator GTG} &< I_{set} < 1,4 \times \text{FLA Generator GTG} \\
 1,05 \times 2071 &< I_{set} < 1,4 \times 2071 \\
 2174,55 &< I_{set} < 2899,4 \\
 \frac{2174,55}{3000} I_n &< \text{Tap} < \frac{2899,4}{3000} I_n \\
 0,72 I_n &< \text{Tap} < 0,9665 I_n \\
 (\text{range : } 0,3 I_n \text{ sampai } 2,4 I_n, \text{ dengan step } 0,05 I_n) \\
 \text{Dipilih tap} &= 0,75 I_n \\
 I_{set} &= 2250 \text{ A}
 \end{aligned}$$

*Time dial*

Waktu operasi (t) = 0,5 s

Menurut *Datasheet* rele Merlin Gerin Sepam 1000, penentuan *time delay* dari tipe kurva IEC – *Standard Inverse* dapat menggunakan rumus:

$$t_d = \frac{0,14 \times T}{2,97 \times \left[ \left( \frac{I_{scmax \ 30 \ cycle}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$T = \frac{0,5 \times 2,97 \times \left[ \left( \frac{7390}{2250} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = 0,2553$$

$$\text{time dial set} = 0,6 \quad (\text{dengan step } 0,1)$$

### Instantaneous Pickup

$1,6 \times \text{Generator GTG} < I_{set} < 0,8 \times I_{scmin}$  mengalir pada Relay-GI11

$$1,6 \times 2071 < I_{set} < 0,8 \times 8030$$

$$3313,6 < I_{set} < 6424$$

$$\frac{3313,6}{3000} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{6248}{3000} \text{ In}$$

$$1,1045 \text{ In} < \text{Tap} < 2,14133 \text{ In}$$

(range : 1 In sampai 30 In, dengan step 0,1 In)

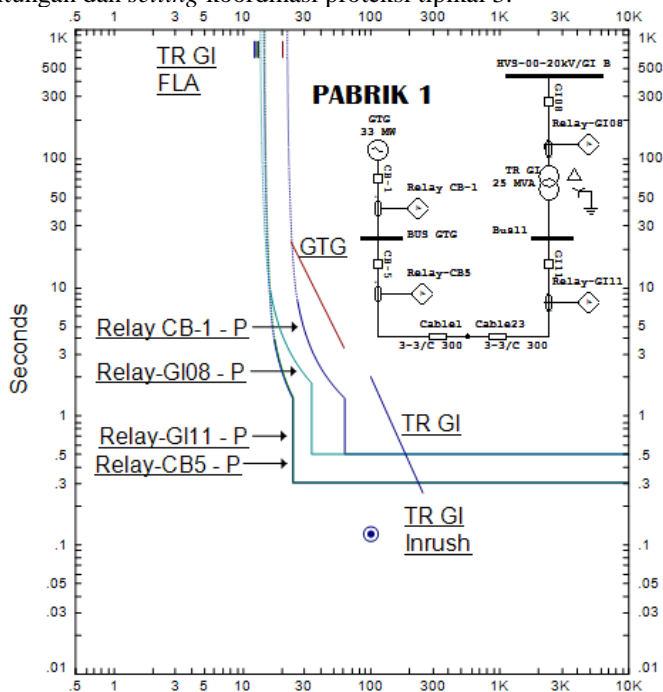
Dipilih tap = 2,1 In

Iset = 6300 A

### Time delay

Dipilih time delay = 0,5 s

Gambar 4.8 merupakan plot Time Current Curve hasil perhitungan dan setting koordinasi proteksi tipikal 3.

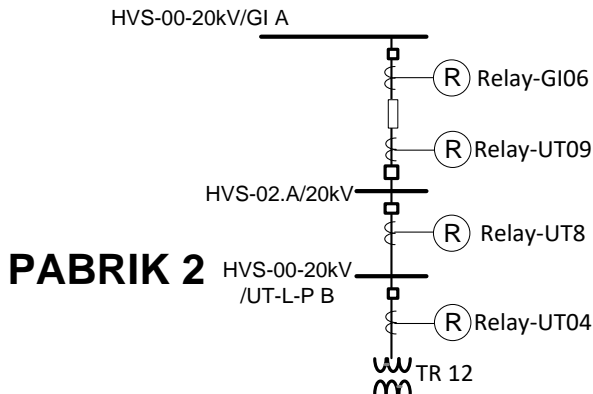


Amps X 100 Bus11 (Nom. kV=11.5, Plot Ref. kV=11.5)

**Gambar 4.8** Plot Time-current curve tipikal 3.

#### 4.4.3 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 4

Tipikal 4 merupakan koordinasi pengamanan dari saluran penghubung *feeder* PLN dengan sistem kelistrikan pabrik 2. Pada tipikal ini akan dilakukan koordinasi rele proteksi dari Relay-GI06 yang merupakan pelindung bus HVS-00-20kV/GI A sampai dengan Relay-UT04 yang merupakan rele pelindung sistem kelistrikan pada pabrik 2. Gambar rangkaian tipikal 3 ditunjukkan pada Gambar 4.9.



**Gambar 4.9** Rangkaian *single line diagram* tipikal 4

Berikut merupakan perhitungan parameter yang diperlukan untuk *setting* dari masing-masing rele yang terdapat pada tipikal 4.

- **Relay-UT04**

<i>Manufacturer</i>	: Merlin Gerin
<i>Model</i>	: Sepam 1000
FLA Primer TR 12	: 230,9 A
Iscmin 30 cycle pada sisi primer TR 12 melalui Relay-UT04	: 12,87 kA
Iscmax 4 cycle pada sisi primer TR 12 melalui Relay-UT04	: 19,37 kA
<i>Curve Type</i>	: IEC – <i>Standard Inverse</i>
<i>CT Ratio</i>	: 300 / 5

### Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA Primer TR 12} < I_{set} < 1,4 \times \text{FLA primer TR 12}$$

$$1,05 \times 230,9 < I_{set} < 1,4 \times 230,9$$

$$242,445 < I_{set} < 323,26$$

$$\frac{242,445}{300} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{323,26}{300} \text{ In}$$

$$0,81 \text{ In} < \text{Tap} < 1,0775 \text{ In}$$

(range : 0,3 In sampai 2,4 In, dengan step 0,05 In)

Dipilih tap = 0,85 In

Iset = 255 A

### Time dial

Waktu operasi (t) = 0,1 s

Menurut *Datasheet* rele Merlin Gerin Sepam 1000, penentuan *time delay* dari tipe kurva IEC – *Standard Inverse* dapat menggunakan rumus:

$$t_d = \frac{0,14 \times T}{2,97 \times \left[ \left( \frac{I_{scmax} \text{ 4 cycle}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$T = \frac{0,1 \times 2,97 \times \left[ \left( \frac{19370}{255} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = 0,1919$$

*time dial set* = 0,2 (dengan step 0,1)

### Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{FLA TR 12} < I_{set} < 0,8 \times I_{sc} \text{ min mengalir pada Relay-UT04}$$

$$1,6 \times 230,9 < I_{set} < 0,8 \times 12870$$

$$369,44 < I_{set} < 10296$$

$$\frac{369,44}{300} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{10296}{300} \text{ In}$$

$$1,23147 \text{ In} < \text{Tap} < 34,32 \text{ In}$$

(range : 1 In sampai 30 In, dengan step 0,1 In)

Dipilih tap = 8 In

Iset = 2400 A

### Time delay

Dipilih *time delay* = 0,1 s



- **Relay-UT8**

<i>Manufacturer</i>	: Merlin Gerin
<i>Model</i>	: Sepam 1000
Kapasitas penghantar Saluran-3	: 595,7 A
Iscmin 30 cycle pada HVS-00-20kV /UT-L-P B melalui Relay-UT8	: 12,87 kA
Iscmax 30 cycle pada HVS-00-20kV /UT-L-P B melalui Relay-UT8	: 14,09 kA
<i>Curve Type</i>	: IEC – <i>Standard Inverse</i>
<i>CT Ratio</i>	: 1200 / 5

*Time Overcurrent Pickup*

$$1,05 \times \text{Kap. Saluran} - 3 < I_{set} < 1,4 \times \text{Kap. Saluran} - 3$$

$$1,05 \times 595,7 < I_{set} < 1,4 \times 595,7$$

$$625,485 < I_{set} < 833,98$$

$$\frac{625,485}{1200} I_n < \text{Tap} < \frac{833,98}{1200} I_n$$

$$0,52 I_n < \text{Tap} < 0,695 I_n$$

(range : 0,1 In sampai 2,4 In, dengan step 0,1 In)

Dipilih tap = 0.6 In

$I_{set} = 720 \text{ A}$

*Time dial*

Waktu operasi (t) = 0,3 s

Menurut *Datasheet* rele Merlin Gerin Sepam 1000, penentuan *time delay* dari tipe kurva IEC – *Standard Inverse* dapat menggunakan rumus:

$$t_d = \frac{0,14 \times T}{2,97 \times \left[ \left( \frac{I_{scmax} \text{ 30 cycle}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$T = \frac{0,3 \times 2,97 \times \left[ \left( \frac{14090}{720} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = 0,3792$$

*time dial set* = 0,4 (dengan step 0.1)

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{FLA total} < I_{\text{set}} < 0,8 \times \text{Isc min mengalir pada Relay-UT04}$$

$$1,6 \times 692,7 < I_{\text{set}} < 0,8 \times 12870$$

$$1108,32 < I_{\text{set}} < 10296$$

$$\frac{1108,32}{1200} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{10296}{1200} \text{ In}$$

$$0,9236 \text{ In} < \text{Tap} < 8,58 \text{ In}$$

(range : 1 In sampai 30 In, dengan step 0,1 In)

Dipilih tap = 1,9 In

Iset = 2280 A

Time delay

Dipilih time delay = 0,3 s

• **Relay-UT09**

*Manufacturer* : Merlin Gerin

*Model* : Sepam 40

Kapasitas penghantar Saluran-3 : 595,7 A

Iscmin 30 cycle pada HVS-02.A/20kV  
melalui Relay-UT09 : 9,84 kA

Iscmax 30 cycle pada HVS-02.A/20kV  
melalui Relay-UT09 : 10,91 kA

*Curve Type* : IEC – Standard Inverse

*CT Ratio* : 1200 / 5

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{Kap. Saluran} - 3 < \text{Iset} < 1,4 \times \text{Kap. Saluran} - 3$$

$$1,05 \times 595,7 < \text{Iset} < 1,4 \times 595,7$$

$$625,485 < \text{Iset} < 833,98$$

$$\frac{625,485}{1200} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{833,98}{1200} \text{ In}$$

$$0,52 \text{ In} < \text{Tap} < 0,695 \text{ In}$$

(range : 0,1 In sampai 2,4 In, dengan step 0,1 In)

Dipilih tap = 0.6 In

Iset = 720 A

Time dial

Waktu operasi (t) = 0,5 s

Menurut *Datasheet* rele Merlin Gerin Sepam 1000, penentuan *time delay* dari tipe kurva IEC – *Standard Inverse* dapat menggunakan rumus:

$$t_d = \frac{0,14 \times T}{2,97 \times \left[ \left( \frac{I_{scmax} 30 \text{ cycle}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$T = \frac{0,5 \times 2,97 \times \left[ \left( \frac{10910}{720} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = 0,592$$

$$time \ dial \ set = 0,6 \quad (\text{dengan } step \ 0.1)$$

#### Instantaneous Pickup

$$1,6 \times Kap. \ Saluran-3 < I_{set} < 0,8 \times I_{sc} \text{ min mengalir pada Relay-UT09}$$

$$1,6 \times 595,7 < I_{set} < 0,8 \times 9840$$

$$953,12 < I_{set} < 7872$$

$$\frac{953,12}{1200} In < Tap < \frac{7872}{1200} In$$

$$0,794 In < Tap < 6,56 In$$

(range : 1 In sampai 30 In, dengan step 0,1 In)

Dipilih tap = 6,5 In

$$I_{set} = 7800 \text{ A}$$

#### Time delay

Dipilih *time delay* = 0,5 s

#### • **Relay-GI06**

*Manufacturer*

: Merlin Gerin

*Model*

: Sepam 1000

Kapasitas penghantar Saluran-3

: 595,7 A

Iscmin 30 cycle pada HVS-00-20kV

/GI A melalui Relay-GI06

: 2,97 kA

Iscmax 30 cycle pada HVS-00-20kV

/GI A melalui Relay-GI06

: 3,12 kA

*Curve Type*

: IEC – *Standard Inverse*

*CT Ratio*

: 600 / 5

### Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{Kap. Saluran} - 3 < I_{set} < 1,4 \times \text{Kap. Saluran} - 3$$

$$1,05 \times 595,7 < I_{set} < 1,4 \times 595,7$$

$$625,485 < I_{set} < 833,98$$

$$\frac{625,485}{600} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{833,98}{600} \text{ In}$$

$$1,04 \text{ In} < \text{Tap} < 1,39 \text{ In}$$

(range : 0,3 In sampai 2,4 In, dengan step 0,05 In)

Dipilih tap = 1,2 In

Iset = 720 A

### Time dial

Waktu operasi (t) = 0,5 s

Menurut *Datasheet* rele Merlin Gerin Sepam 1000, penentuan *time delay* dari tipe kurva IEC – *Standard Inverse* dapat menggunakan rumus:

$$t_d = \frac{0,14 \times T}{2,97 \times \left[ \left( \frac{I_{scmax} 30 \text{ cycle}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$T = \frac{0,5 \times 2,97 \times \left[ \left( \frac{3120}{720} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = 0,3156$$

$$\text{time dial set} = 0,6 \quad (\text{dengan step } 0,1)$$

### Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{Kap. Saluran} - 3 < I_{set} < 0,8 \times I_{sc} \text{ min mengalir pada Relay-GI11}$$

$$1,6 \times 595,7 < I_{set} < 0,8 \times 2970$$

$$953,12 < I_{set} < 2376$$

$$\frac{953,12}{600} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{2376}{600} \text{ In}$$

$$3,6947 \text{ In} < \text{Tap} < 3,96 \text{ In}$$

(range : 1 In sampai 30 In, dengan step 0,1 In)

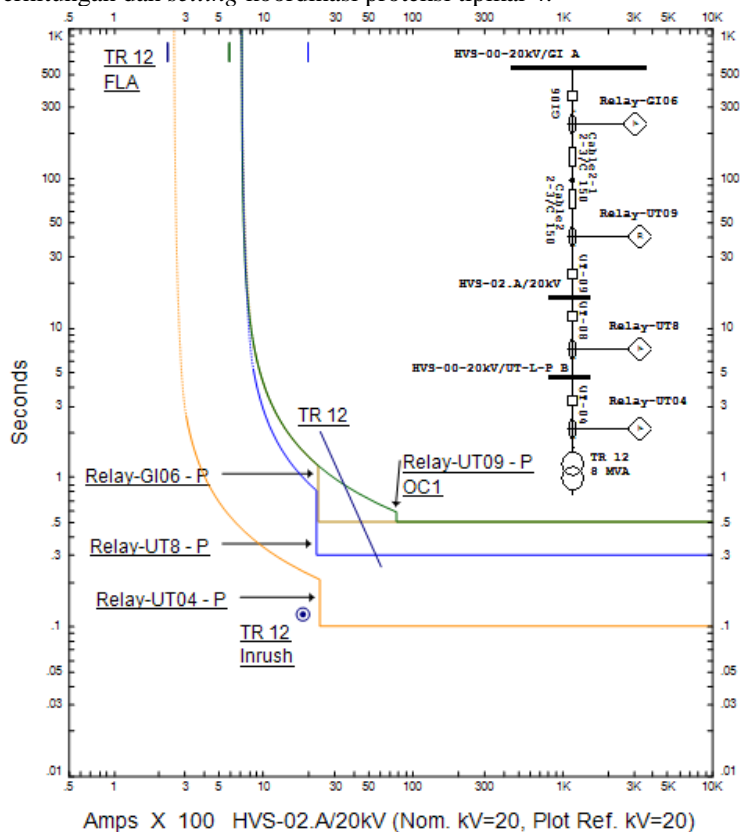
Dipilih tap = 3,9 In

Iset = 2340 A

### Time delay

Dipilih *time delay* = 0,5 s

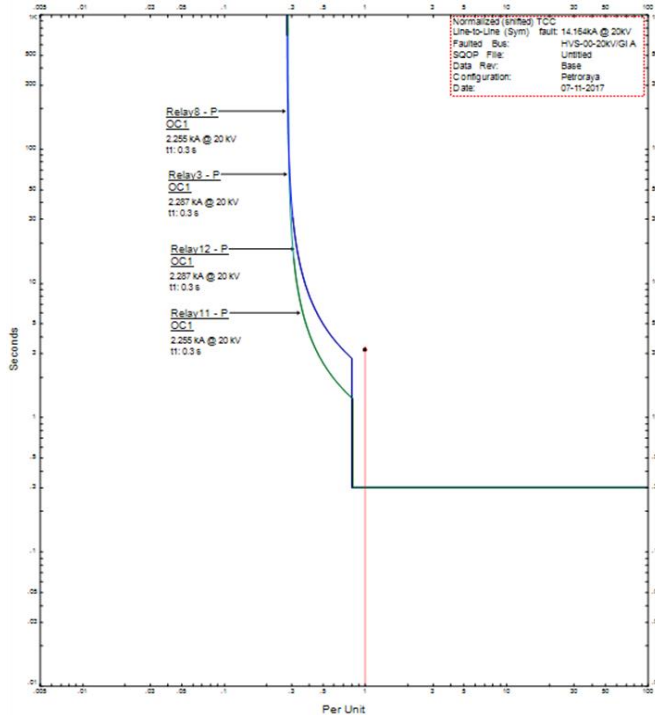
Gambar 4.10 merupakan *plot Time Current Curve* hasil perhitungan dan *setting* koordinasi proteksi tipikal 4.



**Gambar 4.10** Plot *Time-current curve* tipikal 4



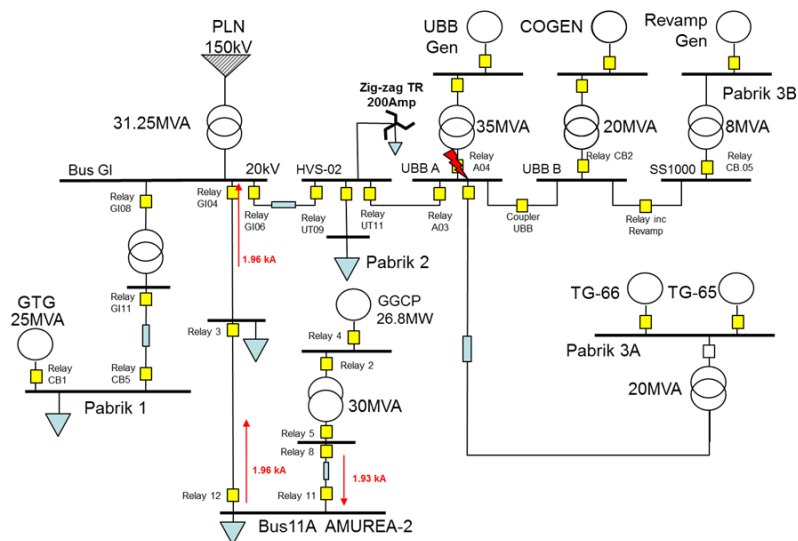
Dari gambar 4.11, dapat dilihat bahwa arus yang mengalir melalui Relay 8 dan Relay 11 adalah sebesar 2.26 kA. Kemudian arus yang mengalir melalui Relay 12 dan Relay 3 adalah sebesar 2.29 kA. Setelah mengetahui nilai arus hubung singkat, selanjutnya adalah melihat dan menganalisis kurva TCC dari keempat relay tersebut.



**Gambar 4.12** Koordinasi rele baru terhadap gangguan pada Bus GI

Dari plot *Time-Current Curve* (TCC) di atas, dapat dilihat bahwa keempat relay tersebut akan bekerja ketika terjadi gangguan pada bus GI. Keempat rele tersebut akan bekerja sesuai dengan waktu tunda yang telah di atur pada bagian sebelumnya. Relay 11 dan Relay 12 akan bekerja bersamaan pada waktu tunda 0.3s, sementara Relay 8 dan Relay 3 akan bekerja bersamaan pada waktu tunda 0.5s. Dari kondisi ini dapat disimpulkan bahwa ketika terjadi gangguan pada bus GI, sistem kelistrikan pabrik baru Amurea II dan GGCP akan terlepas dari jaringan interkoneksi.

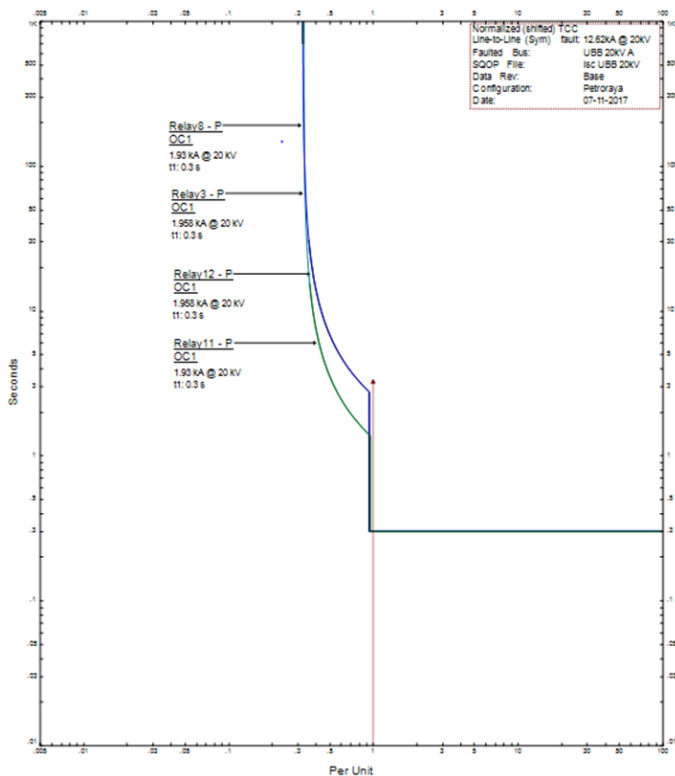
Pada kasus ini, dilakukan simulasi gangguan antar fasa pada bus UBB 20 kV A, kemudian akan dilihat arus kontribusi yang berasal dari generator baru GGCP. Pada Gambar 4.11 akan ditunjukkan arus kontribusi GGCP ketika gangguan terjadi pada bus UBB 20 kV A.



**Gambar 4.13** Arus kontribusi GGCP ketika gangguan pada Bus UBB

Dari gambar 4.12, dapat dilihat bahwa arus yang mengalir melalui Relay 8 dan Relay 11 adalah sebesar 1.93 kA. Kemudian arus yang mengalir melalui Relay 12 dan Relay 3 adalah sebesar 1.96 kA. Nilai arus yang mengalir pada rele-rele tersebut akan menentukan perintah yang akan diberikan keempat rele tersebut kepada pemutus jaringan (*Circuit breaker*). Jika dibandingkan dengan kasus pertama, arus kontribusi yang diberikan oleh generator GGCP ketika gangguan pada bus UBB adalah lebih kecil dibandingkan dengan saat gangguan pada bus GI. Setelah mengetahui nilai arus hubung singkat, selanjutnya adalah melihat dan menganalisis kurva TCC dari keempat relay tersebut.





**Gambar 4.14** Koordinasi rele baru terhadap gangguan pada Bus UBB

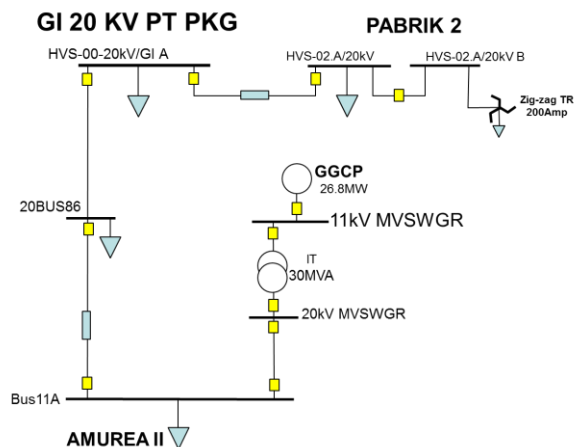
Dari plot *Time-Current Curve* (TCC) di atas, dapat dilihat bahwa keempat relay tersebut akan bekerja ketika terjadi gangguan pada bus UBB. Keempat rele tersebut akan bekerja sesuai dengan waktu tunda yang telah di atur pada bagian sebelumnya. Relay 11 dan Relay 12 akan bekerja bersamaan pada waktu tunda 0.3s, sementara Relay 8 dan Relay 3 akan bekerja bersamaan pada waktu tunda 0.5s. Dari kondisi ini dapat disimpulkan bahwa ketika terjadi gangguan pada bus UBB, sistem kelistrikan pabrik baru Amurea II dan GGCP akan terlepas dari jaringan interkoneksi.

#### 4.6 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan ke Tanah

Gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah merupakan gangguan yang paling sering terjadi pada sistem tenaga listrik. Oleh Karena itu diperlukan koordinasi rele arus lebih gangguan ke tanah agar tercapainya keandalan sistem yang handal serta keamanan bagi peralatan dan pekerja.

Pengaturan (*setting*) koordinasi rele arus lebih gangguan ke tanah hanya dilakukan pada *Instantaneous Pickup* dan waktu operasi/waktu tundanya saja. *Setting* arus-waktu untuk rele arus lebih gangguan ke tanah pada sistem kelistrikan PT.Petrokimia Gresik berbeda dengan sistem kelistrikan pada umumnya, karena terdapat transformator *zigzag* yang juga dilengkapi dengan *neutral grounding resistor* (NGR). NGR yang digunakan pada sistem kelistrikan PT. Petrokimia Gresik akan membatasi arus maksimal yang melalui NGR tersebut sebesar 200 Ampere.

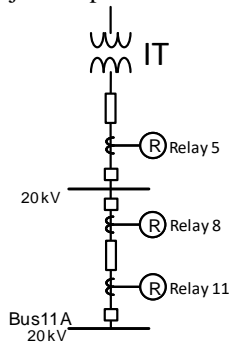
Dalam proses *setting* rele arus lebih gangguan ke tanah, diasumsikan arus yang mengalir dari fasa ke tanah adalah sebesar arus maksimal yang melalui NGR. Sehingga arus yang digunakan dalam *setting pick up* adalah arus maksimum melalui NGR ZIGZAG TR sebesar 200 A. Untuk *setting time delay*, diatur sesuai koordinasi yang dimulai dari beban terjauh sampai dengan sumber gangguan ke tanah (Transformator Zigzag) dengan selisih waktu tunda 0.2s. Gambar rangkaian *Single Line Diagram* tipikal gabungan (tipikal 5, tipikal 6, dan tipikal 7) ditunjukkan pada Gambar 4.15.



**Gambar 4.15** Rangkaian *single line diagram* tipikal gabungan

#### 4.6.1 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Ke Tanah Tipikal 7

Koordinasi rele arus lebih gangguan ke tanah tipikal 7 merupakan koordinasi penghubung antara pabrik Amurea II dengan pembangkit GGCP. Karena terdapat transformator IT yang memiliki belitan *delta-wye*, *setting* pada tipikal ini hanya dilakukan dari Bus11A sampai dengan rele pelindung sisi sekunder transformator IT. Rele yang akan diatur pada tipikal ini meliputi Relay-GI04, Relay3, dan Relay12. Gambar *single line diagram* dari tipikal 7 ditunjukkan pada Gambar 4.16



**Gambar 4.16** Rangkaian *single line diagram* tipikal 7

Berikut merupakan perhitungan parameter yang diperlukan untuk *setting* dari masing-masing rele arus lebih gangguan ke tanah yang terdapat pada tipikal 7.

- **Relay 11**

<i>Manufacturer</i>	: Siemens
<i>Model</i>	: 7SJ62
Arus maksimum NGR pada ZIGZAG TR	: 200 A
<i>Curve Type</i>	: <i>Definite</i>
<i>CT Ratio</i>	: 50 / 1

##### Instantaneous Pickup

5-10% Arus maksimum NGR <  $I_{set}$  < 50% Arus maksimum NGR

$$5-10\% \times 200 < I_{set} < 50\% \times 200$$

$$20 < I_{set} < 100$$

$$\frac{20}{50} I_n < Tap < \frac{100}{50} I_n$$

$$0,4 \text{ In} < \text{Tap} < 2 \text{ In}$$

(range : 0,001 In sampai 1.5 In, dengan step 0.001 In)

Dipilih tap = 0,5 In

Iset = 25 A

#### Time delay

Dipilih time delay = 0,1 s

- **Relay 8**

Manufacturer : Schneider Electric

Model : Sepam Series 10

Arus maksimum NGR pada

ZIGZAG TR : 200 A

Curve Type : Definite

CT Ratio : 50 / 1

#### Instantaneous Pickup

5-10% Arus maksimum NGR  $< I_{set} < 50\%$  Arus maksimum NGR

$$5-10\% \times 200 < I_{set} < 50\% \times 200$$

$$20 < I_{set} < 100$$

$$\frac{20}{50} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{100}{50} \text{ In}$$

$$0,4 \text{ In} < \text{Tap} < 2 \text{ In}$$

(range : 0,004 In sampai 0.5 In, dengan step 0.001 In)

Dipilih tap = 0,5 In

Iset = 25 A

#### Time delay

Dipilih time delay = 0,1 s

- **Relay 5**

Manufacturer : General Electric Multilin

Model : 345

Arus maksimum NGR pada

ZIGZAG TR : 200 A

Curve Type : Definite

CT Ratio : 50 / 1

### Instantaneous Pickup

5-10% Arus maksimum NGR <  $I_{set}$  < 50% Arus maksimum NGR

$$5-10\% \times 200 < I_{set} < 50\% \times 200$$

$$20 < I_{set} < 100$$

$$\frac{20}{50} I_n < Tap < \frac{100}{50} I_n$$

$$0,4 I_n < Tap < 2 I_n$$

(range : 0,005 In sampai 3 In, dengan step 0.001 In)

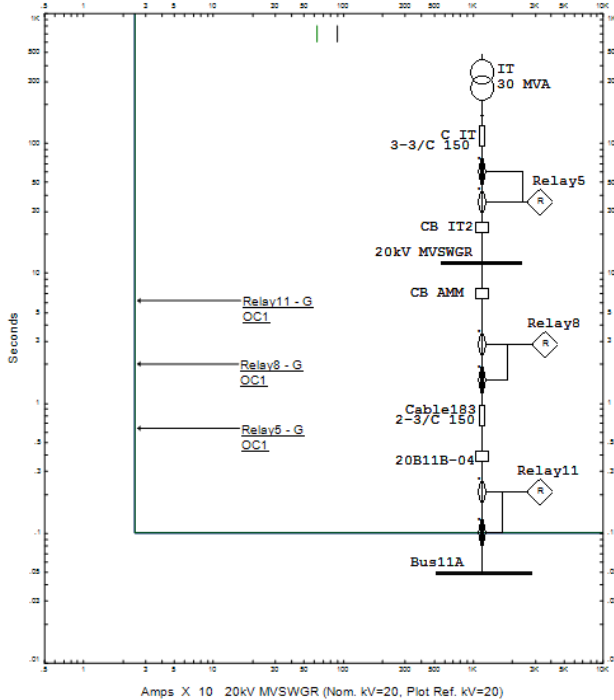
Dipilih tap = 0,5 In

Iset = 25 A

### Time delay

Dipilih time delay = 0,1 s

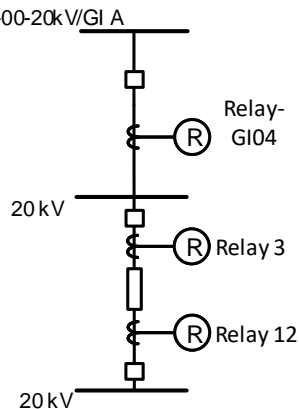
Gambar 4.17 merupakan plot Time Current Curve hasil perhitungan dan setting koordinasi proteksi tipikal 7.



**Gambar 4.17** Plot Time-current curve tipikal 7

#### 4.6.2 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Tanah Tipikal 6

Koordinasi rele arus lebih gangguan ke tanah tipikal 6 merupakan koordinasi dari bus HVS-00-20kV/GI A sampai dengan Bus11A yang terdapat pada sistem kelistrikan pabrik Amurea II. Pada tipikal 6, rele yang akan diatur meliputi Relay-GI04, Relay3, dan Relay12. Gambar *single line diagram* dari tipikal 6 ditunjukkan pada Gambar 4.18.



**Gambar 4.18** Rangkaian *single line diagram* tipikal 6

Berikut merupakan perhitungan parameter yang diperlukan untuk *setting* dari masing-masing rele arus lebih gangguan ke tanah yang terdapat pada tipikal 6.

- **Relay-GI04**

<i>Manufacturer</i>	: Merlin Gerin
<i>Model</i>	: Sepam 40
Arus maksimum NGR pada ZIGZAG TR	: 200 A
<i>Curve Type</i>	: <i>Definite</i>
<i>CT Ratio</i>	: 50 / 1

*Instantaneous Pickup*

5-10% Arus maksimum NGR <  $I_{set}$  < 50% Arus maksimum NGR

$$5-10\% \times 200 < I_{set} < 50\% \times 200$$

$$20 < I_{set} < 100$$

$$\frac{20}{50} I_n < \text{Tap} < \frac{100}{50} I_n$$

$$0,4 I_n < \text{Tap} < 2 I_n$$

(range : 0,1 In sampai 15 In)

Dipilih tap = 0,5 In

Iset = 25 A

#### Time delay

Dipilih *time delay* = 0,5 s

#### • **Relay 3**

*Manufacturer* : Schneider Electric

*Model* : Sepam Series 10

Arus maksimum NGR pada

ZIGZAG TR : 200 A

*Curve Type* : *Definite*

*CT Ratio* : 50 / 1

#### Instantaneous Pickup

5-10% Arus maksimum NGR <  $I_{set}$  < 50% Arus maksimum NGR

$$5-10\% \times 200 < I_{set} < 50\% \times 200$$

$$20 < I_{set} < 100$$

$$\frac{20}{50} I_n < \text{Tap} < \frac{100}{50} I_n$$

$$0,4 I_n < \text{Tap} < 2 I_n$$

(range : 0,004 In sampai 0.5 In, dengan *step* 0.001 In)

Dipilih tap = 0,5 In

Iset = 25 A

#### Time delay

Dipilih *time delay* = 0,3 s

#### • **Relay 12**

*Manufacturer* : Siemens

*Model* : 7SJ62

Arus maksimum NGR pada

ZIGZAG TR : 200 A

*Curve Type* : *Definite*

*CT Ratio* : 50 / 1

### Instantaneous Pickup

5-10% Arus maksimum NGR <  $I_{set}$  < 50% Arus maksimum NGR

$$5-10\% \times 200 < I_{set} < 50\% \times 200$$

$$20 < I_{set} < 100$$

$$\frac{20}{50} I_n < \text{Tap} < \frac{100}{50} I_n$$

$$0,4 I_n < \text{Tap} < 2 I_n$$

(range : 0,001 In sampai 1.5 In, dengan step 0.001 In)

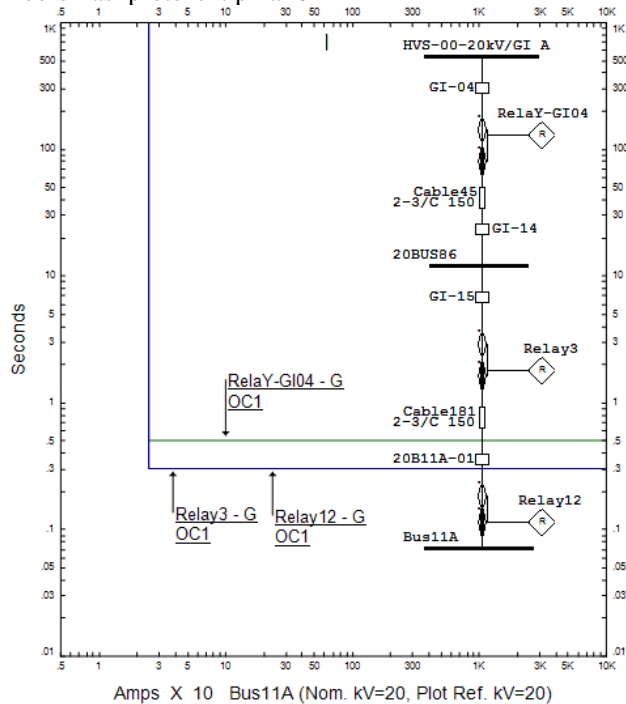
Dipilih tap = 0,5 In

Iset = 25 A

### Time delay

Dipilih time delay = 0,3 s

Gambar 4.19 merupakan *plot Time Current Curve* hasil perhitungan dan *setting* koordinasi proteksi tipikal 6

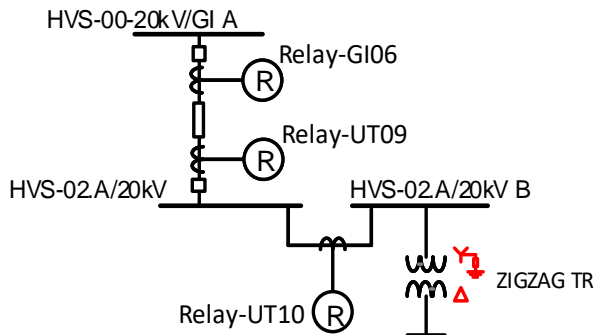


**Gambar 4.19** Plot Time-current curve tipikal 6



#### 4.6.3 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Tanah Tipikal 5

Koordinasi rele arus lebih gangguan ke tanah tipikal 5 merupakan koordinasi dari bus terdapatnya transformator *zigzag* yaitu bus HVS-02.A/20kV B sampai dengan bus HVS-00-20kV/GI A. Pada tipikal 5, rele yang akan diatur meliputi Relay-UT10, Relay-UT09, dan Relay-GI06. Gambar *single line diagram* dari tipikal 5 ditunjukkan pada Gambar 4.20.



**Gambar 4.20** Rangkaian *single line diagram* tipikal 5

Berikut merupakan perhitungan parameter yang diperlukan untuk *setting* dari masing-masing rele arus lebih gangguan ke tanah yang terdapat pada tipikal 5.

- Relay-UT10**  
*Manufacturer* : Merlin Gerin  
*Model* : Sepam 40  
Arus maksimum NGR pada ZIGZAG TR : 200 A  
*Curve Type* : *Definite*  
*CT Ratio* : 50 / 1

##### Instantaneous Pickup

5-10% Arus maksimum NGR <  $I_{set}$  < 50% Arus maksimum NGR

$$5-10\% \times 200 < I_{set} < 50\% \times 200$$

$$20 < I_{set} < 100$$

$$\frac{20}{50} I_n < \text{Tap} < \frac{100}{50} I_n$$

$$0,4 I_n < \text{Tap} < 2 I_n$$

(range : 0,1 In sampai 50 In, dengan step 0,1 In)

Dipilih tap = 0,5 In

Iset = 25 A

Time delay

Dipilih time delay = 0,9 s

- **Relay-UT09**

Manufacturer : Merlin Gerin

Model : Sepam 40

Arus maksimum NGR pada

ZIGZAG TR : 200 A

Curve Type : Definite

CT Ratio : 50 / 1

Instantaneous Pickup

5-10% Arus maksimum NGR <  $I_{set}$  < 50% Arus maksimum NGR

5-10% x 200 <  $I_{set}$  < 50% x 200

20 <  $I_{set}$  < 100

$\frac{20}{50}$  In < Tap <  $\frac{100}{50}$  In

0,4 In < Tap < 2 In

(range : 0,1 In sampai 50 In, dengan step 0,1 In)

Dipilih tap = 0,5 In

Iset = 25 A

Time delay

Dipilih time delay = 0,7 s

- **Relay-GI06**

Manufacturer : Merlin Gerin

Model : Sepam 1000

Arus maksimum NGR pada

ZIGZAG TR : 200 A

Curve Type : Definite

CT Ratio : 50 / 1

### Instantaneous Pickup

5-10% Arus maksimum NGR <  $I_{set}$  < 50% Arus maksimum NGR

$$5-10\% \times 200 < I_{set} < 50\% \times 200$$

$$20 < I_{set} < 100$$

$$\frac{20}{50} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{100}{50} \text{ In}$$

$$0,4 \text{ In} < \text{Tap} < 2 \text{ In}$$

(range : 0,05 In sampai 10 In)

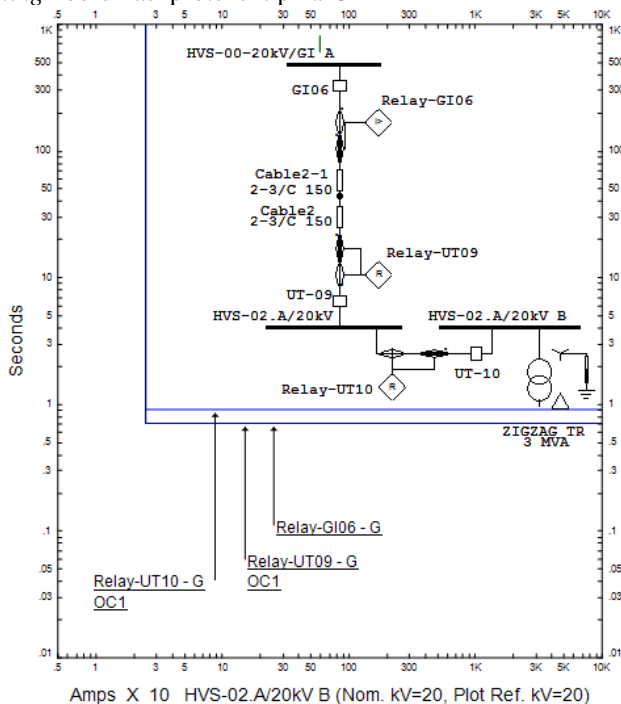
Dipilih tap = 0,5 In

Iset = 25 A

### Time delay

Dipilih time delay = 0,7 s

Gambar 4.21 merupakan *plot Time Current Curve* hasil perhitungan dan *setting* koordinasi proteksi tipikal 5



**Gambar 4.21** Plot *Time-current curve* tipikal 5

#### 4.7 Rekapitulasi *Setting* Rele Arus Lebih

Rangkuman hasil perhitungan dan *setting* rele arus lebih yang terdapat pada tugas akhir ini dimana telah dilakukan pada bagian sebelumnya dapat dirangkum dalam Tabel 4.6 sebagai berikut.

**Tabel 4.6** Tabel Rekapitulasi *Setting* Rele Arus Lebih

Relay ID	Bus	CT	Manufact. /Tipe	Setting		
				ANSI Code	Parameter	Nilai
Relay 11	Bus11A	800/ 1	Siemens / 7SJ62	50	Ip	2.31
					Td	0.3
				51	Ip	0.8
					T	0.21
		50G		Ip	0.5	
				Td	0.1	
Relay 8	20kV MVSWGR	500/ 1	Schneider Electric / Sepam Series 10	50	Ip	3.7
					Td	0.3
				51	Ip	1.28
					T	0.21
		50G		Ip	0.5	
				Td	0.1	
Relay 5	20kV MVSWGR	800/ 1	GE Multilin / 345	50	Ip	2.32
					Td	0.5
				51	Ip	1.2
					T	0.2
		50G		Ip	0.5	
				Td	0.1	
Relay 2	11kV MVSWGR	1800 /1	GE Multilin / 345	50	Ip	2.4
					Td	0.7
				51	Ip	0.96
					T	0.3
Relay 4	11kV MVSWGR	1800 /1	GE Multilin / 489	50	Ip	2.5
					Td	0.9
				51	Ip	1
					T	0.4
Relay 12	Bus11A	800/ 1	Siemens / 7SJ62	50	Ip	2.5
					Td	0.3
				51	Ip	0.8
					T	0.42
		50G		Ip	0.5	
				Td	0.3	

**Tabel 4.6** Tabel Rekapitulasi *Setting* Rele Arus Lebih (lanjutan)

Relay ID	Bus	CT	Manufact. /Tipe	Setting		
				ANSI Code	Parameter	Nilai
Relay 3	20BUS86	500/ 1	Schneider Electric / Sepam Series 10	50	Ip	4
					Td	0.3
				51	Ip	1.28
		T			0.42	
		50/1		50G	Ip	0.5
					Td	0.3
Relay-GI04	20BUS86	800/ 5	Merlin Gerin / Sepam 40	50	Ip	2.7
					Td	0.5
				51	Ip	0.9
		T			0.71	
		50/1		50G	Ip	0.5
					Td	0.5
Relay-GI02	HVS-00- 20kV/GI A	1000 /5	Merlin Gerin / Sepam 1000	50	Ip	5
					Td	0.9
				51	Ip	0.8
					T	0.23
Relay-GI11	Bus11	800/ 5	Merlin Gerin / Sepam 1000	50	Ip	3.1
					Td	0.3
				51	Ip	1.85
					T	0.3
Relay-CB5	BUS GTG	2500 /5	Merlin Gerin / Sepam 1000	50	Ip	1
					Td	0.3
				51	Ip	0.6
					T	0.3
Relay-GI08	HVS-00- 20kV/GI B	800/ 5	Merlin Gerin / Sepam 1000	50	Ip	2.5
					Td	0.5
				51	Ip	1
					T	0.7
Relay CB-1	BUS GTG	3000 /5	Merlin Gerin / Sepam 1000	50	Ip	2.1
					Td	0.5
				51	Ip	0.75
					T	0.6

**Tabel 4.6** Tabel Rekapitulasi *Setting* Rele Arus Lebih (lanjutan)

Relay ID	Bus	CT	Manufact. /Tipe	Setting			
				ANSI Code	Parameter	Nilai	
Relay- UT04	HVS-00- 20kV/UT- L-P B	300/ 5	Merlin Gerin / Sepam 1000	50	Ip	8	
					Td	0.1	
				51	Ip	0.85	
					T	0.2	
Relay- UT8	HVS-00- 20kV/UT- L-P B	1200 /5	Merlin Gerin / Sepam 1000	50	Ip	1.9	
					Td	0.3	
				51	Ip	0.6	
					T	0.4	
Relay- UT09	HVS- 02.A/20kV	1200 /5	Merlin Gerin / Sepam 40	50	Ip	6.5	
					Td	0.5	
		50/1		51	Ip	0.6	
					T	0.6	
				50G	Ip	0.5	
					Td	0.7	
Relay- GI06	HVS-00- 20kV/GI A	600/ 5	Merlin Gerin / Sepam 1000	50	Ip	3.9	
					Td	0.5	
		50/1		51	Ip	1.2	
					T	0.6	
				50G	Ip	0.5	
					Td	0.7	
Relay- UT10	HVS- 02.A/20kV	50/1	Merlin Gerin / Sepam 40	50G	Ip	0.5	
					Td	0.9	

*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil *setting* koordinasi rele pengamanan pada PT. Petrokimia Gresik setelah pembangunan pabrik Amurea 2 dan Pembangkit *Gresik Gas Cogeneration Plant* (GGCP), dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada *setting* rele arus lebih gangguan fasa tipikal 1, telah dilakukan pengaturan rele arus lebih fasa yang tepat mulai dari rele pelindung bus 11A sampai dengan rele pelindung pembangkit GGCP. Pada tipikal ini terdapat Relay 2 sebagai pelindung transformator IT dimana setelah dilakukan pengecekan kondisi rele pelindung transformator, *setting time delay* dari rele tersebut tidak dapat kembali menjadi 0.1 detik melainkan harus melanjutkan koordinasi dari rele dibawahnya sehingga *time delay* yang diatur pada Relay 2 menjadi 0.7 detik.
2. Pada *setting* arus lebih gangguan fasa tipikal 2, telah dilakukan pengaturan koordinasi rele arus lebih fasa dari Bus11A pada pabrik Amurea 2 sampai dengan rele pelindung sisi sekunder transformator TR PLN. Pada tipikal ini telah dilakukan perhitungan dan *setting* yang tepat sehingga pada saat terjadi gangguan fasa minimum maka rele yang berada di dekatnya dapat bekerja sesuai koordinasi yang diinginkan.
3. Pada *setting* arus lebih gangguan fasa tipikal 3, telah dilakukan pengaturan koordinasi rele arus lebih fasa dari bus HVS-00-20kV/GI B sampai dengan BUS GTG yang terdapat pada pabrik 1. Tipikal ini merupakan saluran penghubung antara feeder PLN dengan pabrik 1, dimana kemudian telah dilakukan perhitungan dan *setting* koordinasi rele yang tepat antara *feeder* PLN dengan sistem kelistrikan Pabrik 1 agar keandalan dan kontinuitas daya listrik pada pabrik 1 tetap terjaga setelah dibangunnya pabrik Amurea 2 dan pembangkit GGCP.
4. Pada *setting* arus lebih gangguan fasa tipikal 4, telah dilakukan pengaturan koordinasi rele arus lebih fasa dari bus HVS-00-20kV/GI A sampai dengan rele pelindung sisi primer transformator TR12 yang terdapat pada pabrik 2. Pada tipikal ini telah dilakukan perhitungan dan *setting* koordinasi rele yang tepat



antara *feeder* PLN dengan sistem kelistrikan Pabrik 2 agar keandalan dan kontinuitas daya listrik pada pabrik 1 tetap terjaga setelah dibangunnya pabrik Amurea 2 dan pembangkit GGCP.

5. Pada *setting* rele arus lebih gangguan ke tanah yang tercakup dalam tipikal 5, tipikal 6, dan tipikal 7, telah dilakukan *setting* koordinasi rele arus lebih gangguan ke tanah antara ZIGZAG TR sampai dengan sisi sekunder transformator IT yang terdapat pada sistem kelistrikan pabrik Amurea 2 dan pembangkit GGCP. Pada sistem kelistrikan PT. Petrokimia Gresik, hanya terdapat *neutral grounding resistor* (NGR) pada transformator ZIGZAG TR. Dikarenakan penggunaan NGR tersebut, dalam proses perhitungan dan *setting pick up instantaneous* diasumsikan arus hubung singkat *line-to-ground* yang mengalir adalah arus maksimum yang mengalir pada NGR ZIGZAG TR. Pada perhitungan tipikal ini didapatkan nilai  $I_{set} = 25A$  dengan *grading time* 0.2s.

## 5.2 Saran

Mengacu pada hasil studi koordinasi proteksi sistem kelistrikan PT. Petrokimia Gresik yang telah dilakukan, saran yang dapat menjadi masukan untuk menjaga kontinuitas suplai daya dan keandalan sistem adalah sebagai berikut :

1. Pada *setting* rele proteksi *ground fault* direkomendasikan menggunakan kurva definit dengan *pick up* yang sama karena besarnya arus gangguan dianggap sesuai dengan NGR yang digunakan sehingga koordinasi cukup memperhatikan *grading time* saja.
2. *Setting* rele baru yang terdapat pada tugas akhir ini, yaitu rele yang terdapat pada sistem kelistrikan pabrik Amurea II dan pembangkit GGCP dapat dijadikan pertimbangan dan referensi untuk melakukan *setting* yang sebenarnya.
3. *Setting* rele lama (*existing*) yang terdapat pada tugas akhir ini, dapat digunakan sebagai perbandingan dan referensi bagi *setting* rele yang sebenarnya.

## DAFTAR PUSTAKA

1. IEEE Std 242-2001™, “*IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems*”, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, Ch. 15, 2001
2. Wahyudi, ”*Diktat Kuliah Pengaman Sistem Tenaga Listrik*”, Teknik Elektro ITS, Surabaya, Bab 2, 2004
3. Cahier Technique No. 158, “*Calculation of Short-circuit Currents*”, Schneider Electric, 2005
4. Anderson, P.M, “*Power System Protection*”, John Wiley & Sons, Inc., Canada, Ch. 3, 1998
5. Gers, Juan M., dan Holmes, Edward J., “*Protection of Electrical Distribution Network 2<sup>nd</sup> Edition*”, The Institution of Electrical Engineers, London, Ch. 5, 2004
6. Gurevich, Vladimir, “*Electric Relays, Principle and Application*”, CRC Press, USA, Ch. 10, 2006
7. Shen, M., Ingratta, L., dan Roberts, G., “*Grounding Transformer Application, Modeling, and Simulation*”, 2008.
8. Detjen, Edson R., dan Shah, Kanu R., “*Grounding Transformer Applications and Associated Protection Schemes*”, 1992.
9. ETAP. “*Modelling A Zig-Zag Grounding Transformer in ETAP*”, 2002.
10. Schneider Electric, SEPED307003, ”*Electrical Network Protection Sepam Series 10 Reference Manual*”, 2008.
11. General Electric, GEK-113568C , “*GE Digital Energy Multilin 345 Transformer Protection System, Transformer Protection and Control Instruction Manual.*” , 2011.
12. General Electric, GEK-106494-AE , “*GE Digital Energy Multilin 489 Generator Management Relay Instruction Manual.*” , 2010.
13. Siemens SIP. Edition no. 7, “*Overcurrent Protection / 7SJ62, SIPROTEC 4 7SJ62 multifunction protection relay.*”
14. Schneider Electric, 63230-216-219-B1, “*Sepam™ Series 40 Protective Relays User’s Manual.*” , 2007.
15. Schneider Electric, Technical Bite, “*Protective Relay Setting, Understanding The IEC Based IDMT Setting of Phase Over-Current (51) Protection for SEPAM Protective Relay.*” , 2008.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BIOGRAFI PENULIS



**Teuku Muhammad Kemal Isfan**, dilahirkan di kota Jakarta pada tanggal 24 Desember 1995. Merupakan anak kedua dari pasangan Teuku Derry Ananta dan Yenni Vitaria. Penulis telah menempuh pendidikan selama 14 tahun (TK-SD-SMP-SMA) di kota Jakarta. Penulis memulai jenjang pendidikan di TK Bhakti YKKP pada tahun 1999-2001, SD Bhakti YKKP pada tahun 2001-2007, SMP Islam Al-Azhar 1 tahun ajaran 2007-

2010 dan SMA Negeri 8 Jakarta pada tahun 2010-2013 dan sejak 2013 menempuh pendidikan sebagai mahasiswa bidang studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya. Selama kuliah, penulis aktif sebagai asisten Laboratorium Instrumentasi Pengukuran dan Identifikasi Sistem Tenaga (Lipist B204). Penulis dapat dihubungi melalui email [Kemal\\_2412@hotmail.com](mailto:Kemal_2412@hotmail.com).